

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

12.12.03

REC'D 26 AUG 2004

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.出願年月日
Date of Application: 2002年12月27日出願番号
Application Number: 特願2002-379214

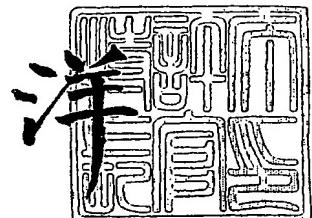
[ST. 10/C]: [JP2002-379214]

出願人
Applicant(s): 独立行政法人理化学研究所PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 8月12日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

八月



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願
【整理番号】 P6750
【特記事項】 特許法第30条第1項の規定の適用を受けようとする特許出願
【提出日】 平成14年12月27日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G06F 15/60
【発明者】
【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内
【氏名】 雷 康斌
【発明者】
【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内
【氏名】 岩田 正子
【発明者】
【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内
【氏名】 姫野 龍太郎
【発明者】
【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内
【氏名】 加瀬 究
【特許出願人】
【識別番号】 000006792
【氏名又は名称】 理化学研究所
【代理人】
【識別番号】 100097515
【住所又は居所】 東京都港区芝5丁目26番20号 建築会館4階 アサ
国際特許事務所
【弁理士】
【氏名又は名称】 堀田 実

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 027018

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9600194

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 V-CADデータを直接用いた非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法と装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非圧縮性粘性流体と接する対象物の境界データからなる外部データ（12）を境界が直交する複数のセル（13）に分割する分割ステップ（A）と、

分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル（13a）と境界データを含む境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（B）と、

前記境界データによる境界セル（13b）の稜線の切断点を求める切断点決定ステップ（C）と、

求めた切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする境界面決定ステップ（D）と、

流れ場の境界に、VOF法を併用したカットセル有限体積法を適用して解析する解析ステップ（E）と、を備えたことを特徴とするV-CADデータを直接用いた非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法。

【請求項 2】 前記解析ステップ（E）において、空間積分について、対流項に二次元のQUICK補間スキームを使用し、拡散項に二次精度の中心差分を用い、時間進行について、対流項と拡散項を合わせて二次精度のAdams-Basforth法を適用し、圧力勾配項に一次精度のEuler陰解法を用いる、ことを特徴とする請求項1に記載の非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法。

【請求項 3】 二次元境界セルにおいて、有限体積法における支配方程式を
[数1] の式（7）であらわす、

【数1】

$$\iint_{V_{i,j}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} dV = - \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(\bar{u} \otimes \bar{u}) dV - \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(p \bar{I}) dV + \frac{1}{\operatorname{Re}} \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(\operatorname{grad}(\bar{u})) dV \quad (7)$$

ことを特徴とする請求項2に記載の非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法。

【請求項4】 有限体積法における支配方程式における対流項、圧力勾配項および拡散項を [数2] の式(8)、(9)、(10) であらわす。

【数2】

対流項：

$$\begin{aligned} \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(\vec{u} \otimes \vec{u}) dV &= \iint_{S_{i-5}} (\vec{u} \otimes \vec{u}) \cdot \vec{n} dS = \sum_{m=i-5} (\vec{u} \otimes \vec{u})_m \cdot \vec{n} \delta S_m \\ &= [\Delta y (B_{i,j} u_{i,j}^{(x)} - B_{i-1,j} u_{i-1,j}^{(x)}) \\ &\quad + \Delta x (A_{i,j} u_{i-1/2,j+1/2}^{(y)} v_{i,j} - A_{i,j-1} u_{i-1/2,j-1/2}^{(y)} v_{i,j-1})] \vec{i} \\ &\quad + [\Delta y (B_{i,j} v_{i+1/2,j-1/2}^{(x)} u_{i,j} - B_{i-1,j} v_{i-1/2,j-1/2}^{(x)} u_{i-1,j}) \\ &\quad + \Delta x (A_{i,j} v_{i,j}^{(y)} v_{i,j} - A_{i,j-1} v_{i,j-1}^{(y)} v_{i,j-1})] \vec{j} \mid \text{only no-slip on wall} \end{aligned} \quad (8)$$

圧力勾配項：

$$\begin{aligned} \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(p \vec{I}) dV &= \iint_{S_{i-5}} (p \vec{I}) \cdot \vec{n} dS = \sum_{m=i-5} p_m \vec{I} \cdot \vec{n} \delta S_m \\ &= \Delta y [B_{i,j} p_{i+1/2,j} - B_{i-1,j} p_{i-1/2,j} - p_p (B_{i,j} - B_{i-1,j})] \vec{i} \\ &\quad + \Delta x [A_{i,j} p_{i,j+1/2} - A_{i,j-1} p_{i,j-1/2} - p_p (A_{i,j} - A_{i,j-1})] \vec{j} \end{aligned} \quad (9)$$

拡散項：

$$\begin{aligned} \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(\operatorname{grad}(\vec{u})) dV &= \iint_{S_{i-5}} \operatorname{grad}(\vec{u}) \cdot \vec{n} dS = \sum_{m=i-5} \operatorname{grad}(\vec{u})_m \cdot \vec{n} \delta S_m \\ &= [\Delta y (B_{i,j} \operatorname{grad}(u)_{i+1/2,j}^x - B_{i-1,j} \operatorname{grad}(u)_{i-1/2,j}^x - (B_{i,j} - B_{i-1,j}) \operatorname{grad}(u)_p^x) \\ &\quad + \Delta x (A_{i,j} \operatorname{grad}(u)_{i,j+1/2}^y - A_{i,j-1} \operatorname{grad}(u)_{i,j-1/2}^y - (A_{i,j} - A_{i,j-1}) \operatorname{grad}(u)_p^y)] \vec{i} \\ &\quad + [\Delta y (B_{i,j} \operatorname{grad}(v)_{i+1/2,j}^x - B_{i-1,j} \operatorname{grad}(v)_{i-1/2,j}^x - (B_{i,j} - B_{i-1,j}) \operatorname{grad}(v)_p^x) \\ &\quad + \Delta x (A_{i,j} \operatorname{grad}(v)_{i,j+1/2}^y - A_{i,j-1} \operatorname{grad}(v)_{i,j-1/2}^y - (A_{i,j} - A_{i,j-1}) \operatorname{grad}(v)_p^y)] \vec{j} \end{aligned} \quad (10)$$

ことを特徴とする請求項3に記載の非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法。

【請求項5】 固体境界の積分において、固体境界でノースリップ境界条件の場合に、対流項は零とし、圧力勾配項と拡散項に対しては、切断線の中間点Pの値を平均値として用いて積分し、空間積分に対してはすべての項に開口率を適用する、ことを特徴とする請求項3に記載の非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法。

【請求項6】 カットセルにおいて算出される物理変数の定義点を、VOF = 0.01 を閾値としてそれより小さい境界セルは完全な固体とみなし、それより大きい境界セルにおいて算出される変数をセルの中心に置く、また、稜線の変

数定義点をセル稜線の中心に定義し、更に、線分4の中心点の変数値を線形補間により求める、ことを特徴とする請求項3に記載の非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法。

【請求項7】 物体に働く抗力（流れ方向の力）と揚力（流れの垂直方向の力）を、**【数3】** の式(12) (13)であらわす、

【数3】

抗力：

$$\begin{aligned}
 F_x = F_D &= \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} \right) dx dy \\
 &= \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \right) dx dy + \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} \right) dy dx = \oint_S \sigma_{xx} ds + \oint_S \sigma_{xy} ds \\
 &= \int_{y_1}^{y_2} (\sigma_{xx}|_{f_1(y)} - \sigma_{xx}|_{f_2(y)}) dy + \int_{x_1}^{x_2} (\sigma_{xy}|_{g_1(x)} - \sigma_{xy}|_{g_2(x)}) dx \Big|_{\text{only Cartesian}}
 \end{aligned} \tag{12}$$

揚力：

$$\begin{aligned}
 F_y = F_L &= \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} \right) dx dy \\
 &= \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial x} \right) dx dy + \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} \right) dy dx = \oint_S \sigma_{yy} ds + \oint_S \sigma_{xy} ds \\
 &= \int_{y_1}^{y_2} (\sigma_{yy}|_{f_1(y)} - \sigma_{yy}|_{f_2(y)}) dy + \int_{x_1}^{x_2} (\sigma_{xy}|_{g_1(x)} - \sigma_{xy}|_{g_2(x)}) dx \Big|_{\text{only Cartesian}}
 \end{aligned} \tag{13}$$

ことを特徴とする請求項3に記載の非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法。

【請求項8】 非圧縮性粘性流体と接する対象物(1)の境界データからなる外部データ(12)を入力する入力装置(2)と、形状と物理量を統合した実体データとその記憶演算プログラムを記憶する外部記憶装置(3)と、前記記憶プログラムを実行するための内部記憶装置(4)及び中央処理装置(5)と、実行結果を出力する出力装置(6)とを備え、

前記外部データを境界が直交する複数のセル(13)に分割し、分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル(13a)と境界データを含む境界セル(13b)とに区分し、前記境界データによる境界セル(13b)の稜線の切断点を求め、求めた切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとし、流れ場の

境界に、VOF法を併用したカットセル有限体積法を適用して解析する、ことを特徴とするV-CADデータを直接用いた非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析装置。

【請求項9】 コンピュータに、非圧縮性粘性流体と接する対象物の境界データからなる外部データ(12)を境界が直交する複数のセル(13)に分割する分割ステップ(A)と、

分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル(13a)と境界データを含む境界セル(13b)とに区分するセル区分ステップ(B)と、

前記境界データによる境界セル(13b)の稜線の切断点を求める切断点決定ステップ(C)と、

求めた切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする境界面決定ステップ(D)と、

流れ場の境界に、VOF法を併用したカットセル有限体積法を適用して解析する解析ステップ(E)と、を実行させるための非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析プログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、形状と物理量を統合した実体データを記憶するV-CADデータを直接用いた非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法と装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶することができ、これにより、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、CADとシミュレーションを一元化することできる実体データの記憶方法として、【特許文献1】が開示されている。

【0003】

【特許文献1】

特開2002-230054号公報

【0004】

[特許文献1] の「形状と物性を統合した実体データの記憶方法」は、図18に示すように、外部データ入力ステップ(A)、八分木分割ステップ(B)、及びセルデータ記憶ステップ(C)からなり、外部データ入力ステップ(A)では、外部データ取得ステップS1で取得した対象物の境界データからなる外部データ12を本発明の方法を記憶したコンピュータ等に入力し、八分木分割ステップ(B)では、外部データ12を八分木分割により境界平面が直交する直方体のセル13に分割し、セルデータ記憶ステップ(C)では、各セル毎に種々の物性値を記憶するものである。

上述した [特許文献1] の発明は、対象物の形状データからなる外部データを、八分木分割により境界平面が直交する直方体のセルに分割し、各セル毎に種々の物性値を記憶するものである。分割された各セルは対象物の内側に位置する内部セルと、境界面を含む境界セルとからなる。また、内部セルは、属性として1種の物性値を持ち、境界セルは、対象物の内側と外側の2種の物性値をもつものである。

以下、この方法によるデータを「V-CADデータ」と呼び、このデータを用いた設計やシミュレーションを「ボリュームCAD」又は「V-CAD」と呼ぶ。図18において14がV-CADデータである。

【0005】

CFD (Computational Fluid Dynamics) が実用化するに従って格子生成に手間や時間がかかり、複雑形状では計算時間よりも格子生成の時間の方が長くなっている。このため、近年、直交格子による流体解析が再び話題となっている。直交格子による流体解析に関しては、 [非特許文献1] ~ [非特許文献17] が知られている。

【0006】

【非特許文献1】

Saiki, E. M., Biringen, S., 1996, Numerical Simulation of a Cylinder in Uniform

rm flow: Application of a Virtual Boundary Method, J. Comput. Phys. 123, 450-465.

【非特許文献2】

矢部孝・肖鋒, 1997, 固体・液体・気体の統一解法とCIP法(2), 数値流体力学, 7, 103-114.

【非特許文献3】

Ye, T., Mittal, R., Udaykumar, H. S., & Shyy, W., 1999, A Cartesian Grid Method for Viscous Incompressible Flows with Complex Immersed Boundaries, AIAA-99-3312, 545-557.

【非特許文献4】

中村明・下村信雄・里深信行, 1995, デカルト格子系による任意形状物体周りの圧縮性粘性流計算, 日本機械学会論文集, 61B-592, 4319-4326.

【非特許文献5】

市川治・藤井孝蔵, 2002, 直交格子を使用した三次元の任意形状物体まわりの流体シミュレーション, 日本機械学会論文集, 68B-669, 1329-1336.

【非特許文献6】

朴炳湖・黒田成昭, 2000, 非圧縮性粘性流れの直交格子解法, ながれ, 19, 37-46.

【非特許文献7】

Ono, K., Tomita, N., Fujitani, K., & Hime no, R., 1998, An Application of Voxel Modeling Approach to Prediction of Engine Cooling Flow, Society of Automotive Engineers of Japan, Spring Conve

n t i o n , N o . 9 8 4 , 1 6 5 - 1 6 8 .

【非特許文献8】

<http://kuwahara.issas.ac.jp/index.html>

【非特許文献9】

寺本進・藤井孝蔵, 1998, 直交格子法による三次元物体周りの流れ解析,
第12回数值流体力学シンポジウム講演論文集, 299-300.

【非特許文献10】

Quirk, J. J., 1994, An Alternative to Unstructured Grids for Computing Gas Dynamic Flows Around Arbitrarily Complex Two-Dimensional Bodies, *Computers Fluids*, 23, 125-142.

【非特許文献11】

Karman, S. L. Jr., 1995, SPLITFLOW: A 3D Unstructured Cartesian/Prismatic Grid (12) dynamics of CFD Code for Complex Geometries, AIAA 95-0343.

【非特許文献12】

Hirt, C. W., & Nichols, B. D., 1981, Volume of Fluid (VOF) Method for the Free Boundaries, *J. Comput. Phys.* 39, 201-225.

【非特許文献13】

Hirt, C. W., & Cook, J. L., 1972, Calculating Three-dimensional Flows Around Structures and Over Rough Terrain, *J. Comput. Phys.* 10, 324-340.

【非特許文献14】

加瀬究・手嶋吉法, 2001, ポリュームCADの開発, 理研シンポジウム・
ものつくり情報技術統合化研究, 第1回, 6-11.

【非特許文献15】

豊田郁夫・荒川忠一, 1999, 直交適合格子法による円柱周り流れの解析,
第13回数値流体力学シンポジウム, F03-1, CD-ROM.

【非特許文献16】

松宮輝・木枝香織・谷口伸行・小林敏雄, 1993, 三次精度風上差分法による
二次元円柱周り流れの数値シミュレーション, 日本機械学会論文集, 59B-
566, 2937-2943.

【非特許文献17】

Bouard, R., & Coutanceau, M., 1980, The early stage of development of the wake behind an impulsively started cylinder for $40 < Re < 10^4$, J. Fluid Mech., 101-3, 583-607.

【0007】

流体解析では現在、複雑な三次元形状の流れ場も重合格子や非構造格子技法を
使って計算できるようになったが、メッシュ生成がシミュレーション全体の大き
な部分を占めるようになった。このため、完全自動化できるメッシュ生成法とし
て、直交格子を用いることが有望視されている。

【0008】

直交格子系による任意形状の数値解析では、物体境界の取り扱いの難しさがよ
く知られている。近年、流れ場の境界近くの離散化や境界条件の扱う方法によっ
て、いくつかの直交格子法が提案されている。

例えば、仮想境界法 [非特許文献1] (Virtual Boundary) 、CIP [非特許文献2] (Cubic-Interpolated Propagation) 密度関数法、Immersed Boundary method 法 [非特許文献3] , NPLC (Neighboring Point Local Collocation) 法 [非特許文献4] , 格子点間に位置する

境界までの距離を差分スキームに取り込む法〔非特許文献5〕、部分境界適合直交格子法〔非特許文献6〕などがある。

これらの方法は物体境界が厳密に扱われるが、その分計算処理が複雑であり、必ずしも任意形状の三次元問題に向いているとはいえない。

【0009】

一方、実用化の観点から、直交格子法は基本的に直交格子だけで階段状の境界を生成し、物体形状を近似する方法（例えば、小野〔非特許文献7〕・日産自動車、桑原〔非特許文献8〕・計算流体研）と、カットセルを導入して境界形状を取り扱う近似度を高める方法（例えば、藤井〔非特許文献9〕・宇宙研、Quirk〔非特許文献10〕・J. J., NASA）の二種類が有望である。

しかし、カットセルによる方法では、直交格子内を境界が任意の場所を通るため、境界上で隣り合ったセルの大きさに大きな差が生じることがあり、カットセル直交格子では粘性流れの解析が難しいという報告〔非特許文献11〕もあった。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、従来の重合格子や非構造格子を用いて、非圧縮粘性流体の流れ場の数値解析を行う場合には、格子生成を完全には自動化できず、そのため格子生成がシミュレーション時間全体に占める割合が高く、シミュレーション時間の短縮が困難な問題点があった。

一方、直交格子を用いた流れ場の数値解析は、格子生成を自動化できるものの、直交格子により物体境界を表現することが難しく、結果としてシミュレーション精度がわるい問題点があった。

また特に、カットセルによる方法では、直交格子内を境界が任意の場所を通るため、境界上で隣り合ったセルの大きさに大きな差が生じることがあり、カットセル直交格子では粘性流れの解析が難しかった。

【0011】

本発明は、かかる問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、格子生成を完全に自動化することができ、物体境界の表現が容

易であり、比較的簡単な計算処理により、精度の高いシミュレーションを短時間で行うことができるV-CADデータを直接用いた非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法と装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、非圧縮性粘性流体と接する対象物の境界データからなる外部データ（12）を境界が直交する複数のセル（13）に分割する分割ステップ（A）と、分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル（13a）と境界データを含む境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（B）と、前記境界データによる境界セル（13b）の稜線の切断点を求める切断点決定ステップ（C）と、求めた切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする境界面決定ステップ（D）と、流れ場の境界に、VOF法を併用したカットセル有限体積法を適用して解析する解析ステップ（E）と、を備えたことを特徴とするV-CADデータを直接用いた非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法が提供される。

【0013】

また、本発明によれば、非圧縮性粘性流体と接する対象物（1）の境界データからなる外部データ（12）を入力する入力装置（2）と、形状と物理量を統合した実体データとその記憶演算プログラムを記憶する外部記憶装置（3）と、前記記憶プログラムを実行するための内部記憶装置（4）及び中央処理装置（5）と、実行結果を出力する出力装置（6）とを備え、

前記外部データを境界が直交する複数のセル（13）に分割し、分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル（13a）と境界データを含む境界セル（13b）とに区分し、前記境界データによる境界セル（13b）の稜線の切断点を求め、求めた切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとし、流れ場の境界に、VOF法を併用したカットセル有限体積法を適用して解析する、ことを特徴とするV-CADデータを直接用いた非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析装置が提供される。

【0014】

さらに、本発明によれば、コンピュータに、非圧縮性粘性流体と接する対象物の境界データからなる外部データ（12）を境界が直交する複数のセル（13）に分割する分割ステップ（A）と、分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル（13a）と境界データを含む境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（B）と、前記境界データによる境界セル（13b）の稜線の切断点を求める切断点決定ステップ（C）と、求めた切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする境界面決定ステップ（D）と、流れ場の境界に、VOF法を併用したカットセル有限体積法を適用して解析する解析ステップ（E）と、を実行させるための非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析プログラムが提供される。

【0015】

上記本発明の方法及び装置により、精度と安定性を有し、計算コストがあまりかかりず、かつ、格子生成を完全に自動化することができ、物体境界の表現が容易であり、比較的簡単な計算処理により、精度の高いシミュレーションを短時間で行うことができる事が分かった。

【0016】

本発明の好ましい実施形態によれば、前記解析ステップ（E）において、空間積分について、対流項に二次元のQUICK補間スキームを使用し、拡散項に二次精度の中心差分を用い、時間進行について、対流項と拡散項を合わせて二次精度のAdams-Basheforth法を適用し、圧力勾配項に一次精度の Euler陰解法を用いる。

【0017】

この方法により、格子生成を完全に自動化することができ、かつ安定性と離散化精度を確保することができる。

【0018】

二次元境界セルにおいて、有限体積法における支配方程式を式（7）であらわす。

この式（7）は、非圧縮粘性流体の基礎支配方程式（1）をテンソル形の発散型に書き換えた式（6）を二次元境界セルの流体部分をコントロールボリューム（CV） $V_{i,j}$ として、空間積分したものであり、非圧縮粘性流体の基礎支配方

程式（1）を満たすことができる。

【0019】

有限体積法における支配方程式における対流項、圧力勾配項および拡散項を式（8）、（9）、（10）であらわす。

式（8）～（10）には、稜線の切断点を結ぶ対象物の境界データが含まれるため、境界における流れ場の非圧縮性粘性流体の数値解析ができる。

【0020】

固体境界の積分において、固体境界でノースリップ境界条件の場合に、対流項は零とし、圧力勾配項と拡散項に対しては、切断線の中間点Pの値を平均値として用いて積分し、空間積分に対してはすべての項に開口率を適用する。

この方法により、直交格子の完全自動化が保たれ、かつ流体計算におけるコントロールボリュームで保存則を厳密に満たすことができる。

【0021】

カットセルにおいて算出される物理変数の定義点を、VOF=0.01を閾値としてそれより小さい境界セルは完全な固体とみなし、それより大きい境界セルにおいて算出される変数をセルの中心に置く、また、稜線の変数定義点をセル稜線の中心に定義し、更に、線分4の中心点の変数值を線形補間により求める。

この方法によっても、直交格子の完全自動化が保たれ、かつ流体計算におけるコントロールボリュームで保存則を厳密に満たすことができる。

【0022】

物体に働く抗力（流れ方向の力）と揚力（流れの垂直方向の力）を、[数3]の式（12）（13）であらわす。

この式により、直交格子において、抗力と揚力を容易かつ精度よく求めるもとができる。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。

図1は、本発明の数値解析方法を実行するための数値解析装置の構成図である。この図に示すように、本発明の数値解析装置10は、入力装置2、外部記憶装

置3、内部記憶装置4、中央処理装置5および出力装置6を備える。

【0024】

入力装置2は、例えばキーボードであり、対象物1の形状データからなる外部データ12を入力する。外部記憶装置3は、ハードディスク、フロピィーディスク、磁気テープ、コンパクトディスク等であり、形状と物理量を統合した実体データとその記憶演算プログラムを記憶する。内部記憶装置4は、例えばRAM、ROM等であり、演算情報を保管する。中央処理装置5(CPU)は、演算や入出力等を集中的に処理し、内部記憶装置4と共に、記憶プログラムを実行する。出力装置6は、例えば表示装置とプリンタであり、記憶した実体データと記憶プログラムの実行結果を出力するようになっている。

【0025】

本発明の記憶演算装置10は、上述した外部記憶装置3、内部記憶装置4、及び中央処理装置5により、外部データを境界が直交する複数のセル13に分割し、分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル13aと境界データを含む境界セル13bとに区分し、境界データによる境界セル13bの稜線の切断点を求め、求めた切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとし、流れ場の境界に、VOF法を併用したカットセル有限体積法を適用して解析する。

【0026】

図2は、本発明の数値解析方法とそのプログラムのフロー図である。この図に示すように、本発明の方法及び変換プログラムは、分割ステップ(A)、セル区分ステップ(B)、切断点決定ステップ(C)、境界面決定ステップ(D)、及び解析ステップ(E)からなる。

【0027】

外部から入力する外部データ12は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法に用いる四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツールに用いる曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである。

【0028】

外部データ12は、このようなデータ(S-CADデータと呼ぶ)のほかに、

(1) V-CAD独自のインターフェース (V-interface) により人間の入力により直接作成されたデータと、(2) 測定機やセンサ、デジタイザなどの表面のデジタイズデータや、(3) CTスキャンやMRI、および一般的に Volumeレンダリングに用いられているボクセルデータなどの内部情報ももつVolumeデータであってもよい。

【0029】

分割ステップ (A) では、外部データ取得ステップ (図示せず) で取得した非圧縮性粘性流体と接する対象物の境界データからなる外部データ12を境界平面が直交する複数のセル13に分割する。この分割は、3次元の場合は、八分木分割であり、2次元の場合には4分割である。

すなわちこの分割ステップ (A) における分割とは、目的とする非圧縮性粘性流体と接する対象物を含む、基準となる直方体（または矩形）を分割（8分割又は4分割）し、それぞれの領域の中に立体が完全に含まれるか、含まれなくなるまで再帰的に分割処理を繰り返す。この分割によりボクセル表現よりも大幅にデータ量を減らすことができる。

【0030】

空間分割により分割された一つの空間領域をセル13とよぶ。セルは境界が直交する直方体または矩形である。セルによる階層構造、分割数もしくは分解能によって空間中に占める領域を表現する。これにより空間全体の中で対象は大きさの異なるセルを積み重ねたものとして表現される。

【0031】

セル区分ステップ (B) では、分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル13aと境界データを含む境界セル13bとに区分する。

すなわち本発明では非圧縮性粘性流体と接する対象物の内側または外側に完全に内部に含まれるものはその最大の大きさをもつ内部セル13a（立方体）とし、外部データ12からの境界情報を含むセルは境界セル13bとする。

【0032】

切断点決定ステップ (C) では、境界データによる境界セル13bの稜線の切断点15を求める。

【0033】

境界面決定ステップ（D）では、求めた切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする。以下、かかる切断点を結ぶ多角形を含むセルを「カットセル」と呼ぶ。

【0034】

解析ステップ（E）では、上述した内部セル13aと境界セル13bに対して、流れ場の境界に、VOF法を併用したカットセル有限体積法を適用して非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析を行う。この結果は、例えばCAMやポリゴンデータとして出力する。

【0035】

以下、本発明を更に詳細に説明する。

1. 本発明ではV-CADプログラムにおける実用性のある流体解析技術を目指し、カットセル（KTC）直交格子による任意形状の非圧縮粘性流れの解析方法を開発した。本発明において、流れ場の境界での扱いについては、Hirtらが提案しているVOF（Volume Of Fluid）法【非特許文献12】を併用したカットセル有限体積法を用いた。また本発明の方法による内部流であるチャンネル内流れと、外部流の円柱まわり流れを解析し、実験データ、理論解、及び既存の方法による解析結果との比較を行った。更に、本解析法の応用例として、いくつかの計算結果を合わせて示した。

【0036】**2. 基礎方程式と計算方法****2. 1 基礎方程式**

本発明で用いる基礎支配方程式は【数4】の式（1）（2）に示す非圧縮粘性流体のNavier・Stokes方程式と連続の式である。

【0037】

【数4】

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + f_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

【0038】

ここで Re は流れ場の代表長さと代表速度で定義されるレイノルズ数と呼ばれる無次元数であり、物理的には流れ場における慣性力と粘性力の比を表している。 u は速度、 p は圧力である。また、 $i = 1, 2, 3$ 、 $j = 1, 2, 3$ は直交座標系での各方向を表している。なお、 i, j に関しては縮約を取ることとして、これ以降もそのように表すものとする。式 (1) より流れ場における外力 f_i を考慮しない場合に非圧縮性粘性流体の運動はただ一つのパラメータ Re で支配されていることが分かる。

【0039】

2. 2 計算精度・計算コスト及び計算方法

流体のシミュレーションは一種の数値実験であり、つねに一定の誤差を伴う。流体解析を精度よく行うには、以下の四つの条件が必要となる。

- ① 流れの最小長さスケール（境界層・渦・衝撃波・火炎面など）を捕られるほど細かい空間解像度。
- ② 流れ的最大長さスケールを十分に捕獲するほど大きい計算領域と、人為的な流入・流出境界条件・壁によるブロッキングなど影響を無視できるほどの計算領域。
- ③ 打ち切り誤差や数値拡散などを無視できるほど十分な空間的・時間的な離散化精度。
- ④ 特定問題に即したモデル（壁面モデル・乱流SGSモデル・燃焼モデルなど）やスキーム（K-K・QUICK・MUSCL・TVD・ENOなど）、差分法を援用すれば、できるだけ直交等方性のある格子。

【0040】

流体解析の計算コスト（計算時間・必要なメモリ）は、その計算方法に求めら

れる解析精度によって決められるといえる。実用的な流体解析では、ある程度の精度（例えば、普通の物理実験の精度範囲や、ユーザーに求められる精度）があれば、十分と考えられる。

一方、流れ場は内部流、外部流及びそのほか（例えば噴流）に分類される。一般に外部流の解析領域は内部流のものより大きくとるのが普通である。本発明では実用性の観点から、外部流の場合には、流れ場の代表長さスケールD (= 1)として、解析領域の大きさはすべて $10D \times 10D$ とした。

【0041】

本発明では、差分法を併用した有限体積法を用いる。ある程度の安定性や離散化精度を確保するため、空間積分について、対流項に二次元のQUICK補間スキームを使用し、拡散項に二次精度の中心差分を用いる。時間進行について、対流項と拡散項を合わせて二次精度のAdams-Basheforth法を適用し、圧力勾配項に一次精度のEuler陰解法を用いる。解析アルゴリズムとしての圧力と速度のカップリングには、Hirtらにより提案された圧力と速度を同時緩和するSOLA(HSMAC)法(13)を使用し、緩和係数1.65でSOR法を用いて反復計算を行う。収束判定は連続方程式(2)の残差が0.0002とする。また圧力振動を防ぐために三方向の速度u, v, w, 及び圧力pの格子上の定義点を、半メッシュをずれるスタガード格子を配置する。

【0042】

2.3 V-CADデータによる固体・流体境界の取扱い

Volume-CADシステムの中にもっとも重要なアルゴリズムは加瀬・手嶋[非特許文献14]により提案されるセルの切断点からモノの表面形状を復元するKTCアルゴリズムである。このKTCアルゴリズムは流体解析分野における直交格子カットセル(Cut Cell)法と同じ概念であることを注意されたい。また、KTCは二次元においても一個のセルの四つの稜線上に2個以上の交点(切断点)があり得るが、本発明では簡単のために二次元で一個のセルの稜線上に2個だけの切断点に限るとする。この場合のKTCは図3に示すように二種類しかないことがわかる。

【0043】

カットセル法における開口率は、セルの稜線に流体部分が占める比率として図3に示すように流体・固体境界とセル稜線との交点情報から【数5】の式(3)で定義される。

ここで、 $\Delta x_{i,j}$ 、 $\Delta y_{i,j}$ はそれぞれX方向とY方向の格子幅であり、 $A_{i,j}$ 、 $B_{i,j}$ はX方向とY方向の開口率である。また、 $Vx_{i,j}$ 、 $Vy_{i,j}$ はそのセル稜線上に固体が占める線分を表す。

各方向の開口率が分かれれば、VOF法における流体の体積占有率は【数5】の式(4)と式(5)により求められる。

【0044】

【数5】

$$A_{i,j} = \frac{\Delta x_{i,j} - Vx_{i,j}}{\Delta x_{i,j}} \quad B_{i,j} = \frac{\Delta y_{i,j} - Vy_{i,j}}{\Delta y_{i,j}} \quad 0 \leq A_{i,j}, B_{i,j} \leq 1 \quad (3)$$

$$VF_{i,j} = 1 - 0.5(2 - A_{i,j} - A_{i,j-1})(2 - B_{i,j} - B_{i-1,j}) \quad (4)$$

when($A_{i,j} + A_{i,j-1} > 1$) and ($B_{i,j} + B_{i-1,j} > 1$)

$$VF_{i,j} = 0.5(A_{i,j} + A_{i,j-1})(B_{i,j} + B_{i-1,j}) \quad (5)$$

when($A_{i,j} + A_{i,j-1} \leq 1$) or ($B_{i,j} + B_{i-1,j} \leq 1$)

【0045】

2.4 VOF有限体積法による離散化

有限体積法で保存型の支配方程式を離散化する場合、方程式(1)の積分形をグリーン定理(発散定理)に適用するため、微分型の方程式(1)をテンソル形の発散型に書き換えると【数6】の式(6)のようになる。

ここで、○に×はテンソル積であり、ベクトルIはKronecker δ_{ij}に対応する単位テンソルである。

流体固体境界での離散化は、本発明の肝心なところになる。境界セル以外の格子における有限体積法による直交格子での離散化は従来の方法でもあまり問題が生じないのでここでは省略する。流体固体境界では図3のようなKTCセルを想定して式(6)の空間離散化を行う。また式(6)の時間離散化について、流体占有率VOFを用いてコントロールボリューム(CV)内における速度の時間勾

配を平均値とみなして、従来の方法通りで行えるため、境界セルでの時間離散化の説明も省く。

【0046】

さて、図4の二次元境界セルの流体部分をコントロールボリューム(CV) $V_{i,j}$ として、式(6)を空間積分する（ここで簡単のため外力項ベクトル $f = 0$ とした）と、有限体積法における支配方程式は【数6】の式(7)になる。

【0047】

【数6】

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\operatorname{div}(\bar{u} \otimes \bar{u}) - \operatorname{div}(p \bar{I}) + \frac{1}{Re} \operatorname{div}(\operatorname{grad}(\bar{u})) + \bar{f} \quad (6)$$

$$\iint_{V_{i,j}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} dV = - \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(\bar{u} \otimes \bar{u}) dV - \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(p \bar{I}) dV + \frac{1}{Re} \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(\operatorname{grad}(\bar{u})) dV \quad (7)$$

【0048】

式(7)における対流項、圧力勾配項および拡散項をそれぞれグリーン定理（発散定理）に適用すると、コントロールボリュームにおける面積分（三次元の場合に体積積分）は、閉直線の線積分（三次元の場合に閉平面の面積分）に転換され、図4のコントロールボリュームの五つの稜線（ $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 1$ ）に（反時計まわり方向をとる）沿って線積分することになる。本発明のデカルト座標では、上記の対流項、圧力勾配項および拡散項はそれぞれ【数7】のように離散化される。

【0049】

【数 7】

対流項：

$$\begin{aligned}
 \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(\vec{u} \otimes \vec{u}) dV &= \iint_{S_{i,j}} (\vec{u} \otimes \vec{u}) \cdot \vec{n} dS = \sum_{m=1-5} (\vec{u} \otimes \vec{u})_m \cdot \vec{n} \delta S_m \\
 &= [\Delta y (B_{i,j} u_{i,j}^{(x)} - B_{i-1,j} u_{i-1,j}^{(x)}) \\
 &\quad + \Delta x (A_{i,j} u_{i-1/2,j+1/2}^{(y)} - A_{i,j-1} u_{i-1/2,j-1/2}^{(y)})] \vec{i} \\
 &\quad + [\Delta y (B_{i,j} v_{i+1/2,j-1/2}^{(x)} - B_{i-1,j} v_{i-1/2,j-1/2}^{(x)}) \\
 &\quad + \Delta x (A_{i,j} v_{i,j+1/2}^{(y)} - A_{i,j-1} v_{i,j-1/2}^{(y)})] \vec{j} \mid \text{only no-slip on wall}
 \end{aligned} \tag{8}$$

圧力勾配項：

$$\begin{aligned}
 \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(p \vec{I}) dV &= \iint_{S_{i,j}} (p \vec{I}) \cdot \vec{n} dS = \sum_{m=1-5} p_m \vec{I} \cdot \vec{n} \delta S_m \\
 &= \Delta y [B_{i,j} p_{i+1/2,j} - B_{i-1,j} p_{i-1/2,j} - p_p (B_{i,j} - B_{i-1,j})] \vec{i} \\
 &\quad + \Delta x [A_{i,j} p_{i,j+1/2} - A_{i,j-1} p_{i,j-1/2} - p_p (A_{i,j} - A_{i,j-1})] \vec{j}
 \end{aligned} \tag{9}$$

拡散項：

$$\begin{aligned}
 \iint_{V_{i,j}} \operatorname{div}(\operatorname{grad}(\vec{u})) dV &= \iint_{S_{i,j}} \operatorname{grad}(\vec{u}) \cdot \vec{n} dS = \sum_{m=1-5} \operatorname{grad}(\vec{u})_m \cdot \vec{n} \delta S_m \\
 &= [\Delta y (B_{i,j} \operatorname{grad}(u)_{i+1/2,j}^x - B_{i-1,j} \operatorname{grad}(u)_{i-1/2,j}^x - (B_{i,j} - B_{i-1,j}) \operatorname{grad}(u)_p^x) \\
 &\quad + \Delta x (A_{i,j} \operatorname{grad}(u)_{i,j+1/2}^y - A_{i,j-1} \operatorname{grad}(u)_{i,j-1/2}^y - (A_{i,j} - A_{i,j-1}) \operatorname{grad}(u)_p^y)] \vec{i} \\
 &\quad + [\Delta y (B_{i,j} \operatorname{grad}(v)_{i+1/2,j}^x - B_{i-1,j} \operatorname{grad}(v)_{i-1/2,j}^x - (B_{i,j} - B_{i-1,j}) \operatorname{grad}(v)_p^x) \\
 &\quad + \Delta x (A_{i,j} \operatorname{grad}(v)_{i,j+1/2}^y - A_{i,j-1} \operatorname{grad}(v)_{i,j-1/2}^y - (A_{i,j} - A_{i,j-1}) \operatorname{grad}(v)_p^y)] \vec{j}
 \end{aligned} \tag{10}$$

【0050】

ここで、速度変数の下添え字はスタガード格子ステンシルにより変化することを注意されたい。またはベクトル i, j はそれぞれ X 方向と Y 方向の方程式を表す。対流項の離散式 (8) の中に上添え字 (x) (y) が付いた速度は、それぞれ X 方向と Y 方向に二次元 Q U I C K 補間を適用する。拡散項の離散式 (10) の中に上添え字 x、y が付いた速度勾配は、それぞれ X 方向と Y 方向の速度勾配を表し、そこで各々二次中心差分を適用する。

【0051】

カットセルによる離散化には、二つのキーポイントがあることを注意されたい。

。

キーポイントの一つは固体境界（図 4 の切断線 4）の積分の取り扱いである。

有限体積法では、一階偏微分の対流項と圧力勾配項の境界条件はディリクレ条件であり、二階偏微分の拡散項の境界条件はノイマン問題となる。固体境界でノースリップ境界条件の場合に、図4の切断線4のところに対流項が零となるから対流項を積分しなくてもいいが、圧力勾配項と拡散項に対して切断線4のところに積分しなければいけない。これは式(9)と式(10)の各々最後の項に切断線4の中間点Pの値を（平均値として）用いて積分するわけである。また空間積分に対してすべての項に開口率を適用する必要もあることを注意されたい。

【0052】

もう一つのキーポイントは、カットセルにおいて算出される物理変数の定義点である。有限体積法では流体占有率VOFで体積平均を行うため、物理変数の定義点は流体のコントロールボリュームの中心（例えば図4の・点で示すC点）に置くのが自然だが、そうすると直交等間隔格子の完全自動化メリットがなくなる。その故、本発明では $VOF = 0.01$ を閾値としてそれより小さい境界セルは完全の固体とみなし、それより大きい境界セルにおいて算出される変数はコントロールボリュームの中心ではなく、セルの中心（例えば図4の+印で示すD点）に置くこととする。同じく図4の稜線3と稜線5の変数定義点も線分の中心○ではなく、セル稜線の中心○に定義される。また線分4の中心点Pに変数が定義されていないため、本発明でその点の変数值を線形補間ににより求める。こう処理すると、固体境界の再現性を損するものの、直交格子の完全自動化が保たれ、実用化に向ける。また流体の計算はコントロールボリュームで保存則が厳密に満たされ、上記の処理は流れ場の計算精度に及ぼす影響がそれほど大きくないと考えられる。

【0053】

2.5 物体に働く抗力と揚力について

物体まわりの流れを解析するとき、その物体に働く抗力と揚力の計算について、一般座標系の境界適合格子の場合に物体の第1格子点に沿って積分すれば簡単だが、直交格子で取り扱う場合にはやや煩雑となる。そこで本発明では、以下の方法で抗力と揚力を求める。

物体に働く力は、その物体表面に作用する流体応力テンソルを閉積分して、グ

リーン定理を適用すれば、二次元の場合に [数8] の式(11) ように得られる。

ここで σ_n は法線方向の平面に働く応力テンソル、 σ は物体表面その点での応力テンソルである。また二次元の二階応力テンソルの発散はそのテンソルの四つの方向からなることを注意されたい。それで X 方向を流れ方向、Y 方向を流れの垂直方向とすると、物体に働く抗力（流れ方向の力）と揚力（流れの垂直方向の力）は、グリーン定理を再び適用すると [数8] の式(12) (13) のようになる。

【0054】

抗力と揚力が分かれれば、無次元量としての抗力係数 C_D と揚力係数 C_L を、主流速度 U 、流体密度 ρ 及び物体の基準面積 A （二次元の場合は基準長さ）を用いて [数5] の式(14) のように無次元化される。

また非定常現象を表わす無次元量のストローハル数 S_t は、 C_L の周波数 f_L から [数8] の式(15) で求める。

【0055】

【数8】

$$\begin{aligned} F &= \oint_S \sigma_n ds = \iint_V \operatorname{div} \sigma dV = \iint_V \frac{\partial \sigma_y}{\partial x_y} dV = \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x_x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y_y} \right) dV \\ &= \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \right) dx dy + \left(\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \right) dy dx = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} \end{aligned} \quad (11)$$

抗力：

$$\begin{aligned} F_x &= F_D = \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \right) dx dy \\ &= \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \right) dx dy + \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \right) dy dx = \oint_S \sigma_{xx} ds + \oint_S \sigma_{yy} ds \\ &= \int_{y_1}^{y_2} (\sigma_{xx} |_{f_1(y)} - \sigma_{xx} |_{f_2(y)}) dy + \int_{x_1}^{x_2} (\sigma_{yy} |_{g_1(x)} - \sigma_{yy} |_{g_2(x)}) dx \Big|_{\text{only Cartesian}} \end{aligned} \quad (12)$$

揚力：

$$\begin{aligned} F_y &= F_L = \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \right) dx dy \\ &= \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} \right) dx dy + \iint_V \left(\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \right) dy dx = \oint_S \sigma_{yx} ds + \oint_S \sigma_{yy} ds \\ &= \int_{y_1}^{y_2} (\sigma_{yx} |_{f_1(y)} - \sigma_{yx} |_{f_2(y)}) dy + \int_{x_1}^{x_2} (\sigma_{yy} |_{g_1(x)} - \sigma_{yy} |_{g_2(x)}) dx \Big|_{\text{only Cartesian}} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\sigma_{xx} = -p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad \sigma_{yy} = \sigma_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad \sigma_{yy} = -p + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (14)$$

$$C_D = \frac{F_D}{\rho U^2 D / 2} \quad C_L = \frac{F_L}{\rho U^2 D / 2} \quad (15)$$

$$St = f_L D / U \quad (16)$$

【0056】

3. 計算結果および考察

流体の数値解析において解析スキームや数値モデルなどを検証することにあたって、内部流のベンチマークテストとしてチャネル流れと、外部流のベンチマークテストとしての円柱まわりの流れはしばしば検証の対象となる。本発明でも、

上記のVOF法を併用したカットセル有限体積法を検証するために、解析理論解のある二次元 Poiseuille 流と、多くの実験や計算データのある静止円柱まわりの流れについて数値解析を行い、他の研究者のデータとの比較を行った。なお、実用問題に向けての応用例として、バックステップを過ぎる流れ、狭窄管内の流れ、チャネル内障害物周りの流れ、分岐管内の流れ、複数Blauf Body まわりの流れや予混合燃焼器内の流れなどについて解析を行い、その計算結果の可視化例を示す。

【0057】

3. 1 チャネル Poiseuille 流による検証

セルのカットされたVOFの効果を検証するため、 $10D \times 10D$ 正方形の解析領域におけるダクトを、0度、10度及び45度を斜めにして解析を行った。全体の格子数は 64×64 、ダクトの半幅は $2.5D$ 、この半幅で定義されるレイノルズ数 $Re = 1$ 、時間刻み $\Delta t = 0.0001$ 、解析時間 steps = 1000とする。ダクトの流入条件と流出条件はともに放物型の分布を仮定した。流れ方向の圧力勾配は 1.0 とした。また HSMAC 法を用い、入口・出口および壁での圧力境界条件は直接与えていない。三ケースの VOF 分布を図 5 に示す。図 5 における破線は、境界を示している。その三ケースに対応する流れ方向速度分布を理論解析解と比較して図 6 に示す。

【0058】

図 6 の中に線 A の analysis は理論解析解であり、線 B の i = 32 は第 32 格子点断面にある流れ軸中心での流れ垂直断面の速度分布である。ダクトを傾けない（角度 0）計算結果の速度分布は解析解とよく一致し、傾斜角度を 10 度、45 度にすると、軸中心の最大速度がわずかに過小評価されるものの、全体として解析結果は理論解と一致していると言える。

【0059】

3. 2 静止円柱まわり流れによる検証

解析スキームやモデルなどの検証対象となる円柱まわり流れの解析は、直交格子にとって最も困難な例題であろう。本発明では、3. 1 の解析領域 ($10D \times 10D$) と格子数 (64×64) のままで、円柱直径 D で定義されるレイノルズ

数の $Re = 1$ から $Re = 20000$ までの 24 ケースについて、一様流中に置かれている静止円柱まわり流れの解析を行った。計算の無次元時間は 100 とし、円柱の円心座標の図 5 のように $X = 2.5D$, $Y = 5.0D$ とした。速度の境界条件として、円柱表面で滑り無し条件、流入側の流入条件は一様流（流れ方向速度 = 1.0）条件、流出側の流出条件は X 方向に自由流出（速度勾配 0），Y 方向にフリースリップ条件とした。また、HSMAC 法を用いて速度・圧力を同時に緩和するため、流入・流出および壁での圧力境界条件を直接与える必要がない。

【0060】

図 7 は解析格子と解析全領域の VOF 分布を示す。図 8、図 9 はレイノルズ数 $Re = 300$ の場合の、速度ベクトルと圧力等値線であり、円柱後方に周期的なカルマン渦列の形成が観察されており、非定常流の流れパターンの特徴を捉えている。これはレイノルズ数 $Re > 80$ の場合に共通なので、他のレイノルズ数における計算結果は省略した。

【0061】

図 10、図 11 にそれぞれ実験データなどと比較した無次元時間 50～100 にわたる抗力係数の平均値と、平均 Strouhal 数を示す。抗力係数について、低レイノルズ数 ($Re < 60$) の本発明による計算結果は今井の式による結果 (B) とよく一致している。レイノルズ数 $Re = 100$ 付近あたりにおいて、本発明による計算結果は実験データ (C) と比較してわずかに小さくなっている。レイノルズ数 $Re > 400$ では、本発明による計算結果は実験データ (C) とほとんど相違がない結果となっている。

これは主に本発明で用いる空間解像度 ($10 / 64 = 0.15$) が低いので、 $Re = 100$ (O) オーダー以上になると、円柱壁における境界層は十分に解像されていないと考えられる。図 10 から分かるようにレイノルズ数 $Re > 50$ では、カットセル無しの階段近似による計算結果 (D) は実験より明らかに過大評価される。これに対して、本発明で提案したカットセル VOF 法による計算は、計算結果 (D) に比べて大幅に改善されていることが分かる。

図 11 の平均 Strouhal 数について、本発明での計算結果は、実験データ

タより大きめであるが、レイノルズ数 $R_e > 200$ の適正值とされる $0.2 \sim 0.25$ の範囲に収まっていることがわかる。

【0062】

図12に他の研究者による直交適合格子法〔非特許文献15〕を使用した円柱の抗力係数と揚力係数の解析結果を示す。また図13に一般座標系適合格子法〔非特許文献16〕による抗力係数と揚力係数の解析結果を示す。これら従来の方法による結果では、レイノルズ数 $R_e > 200$ の適正值とされる $0.2 \sim 0.25$ の範囲から部分的に外れていることがわかる。従って本発明による平均 $S_t r o u h a l$ 数の計算結果（図10、図11）は、これら従来の境界適合格子による計算結果と比べて計算精度が優れていることが分かる。

【0063】

レイノルズ数 $R_e = 300$ の場合に無次元時間 $T = 2.5$ の時の可視化実験〔非特許文献17〕の結果と、本発明での同じ条件による計算結果の円柱近傍拡大図を図14に示す。またレイノルズ数 $R_e = 550$ の場合（無次元時間 $T = 2.5$ ）に実験〔非特許文献17〕と対照する円柱付近の計算結果を図15に示す。

【0064】

上記の図から分かるようにいずれのケースで円柱付近の双子渦の形状や大きさ、円柱直後から渦の循環再合流までの距離など、本発明での計算結果は可視化実験とよく一致している。

【0065】

図16にレイノルズ数 $R_e = 200$ 場合の、本発明の方法による円柱抗力と揚力の時間履歴変化を、朴ら〔非特許文献6〕により提案された部分境界適合直交格子法による計算結果と比較して示す。この図から、本発明の等間隔直交格子による抗力および $S_t r o u h a l$ 数は、部分境界適合直交格子法による結果とよく一致していることが確認された。なお、本発明の揚力の変動幅は部分境界適合直交格子法による結果より小さく評価されているが、これは主に〔非特許文献6〕の計算領域は $30D \times 15D$ であり、流出境界として放射条件を使用しているためと考えられる。

【0066】

ここで図に示されていないが、本発明でレイノルズ数 $R_e = 1$ から $R_e = 2000$ までの 24 ケース計算を行ったが、レイノルズ数 80 以上でカルマン渦が出るようになった。実験や理論の臨界レイノルズ数 $R_e = 50$ 位に比べてやや大きめであるが、実用上十分であると思われる。

【0067】

3. 3 実用問題に向けての応用例

今回開発した解析方法をいくつかの例に応用してみた。それらは図17のようにバックステップを過ぎる流れ (A)、狭窄管内の流れ (B)、チャネル内障害物周りの流れ (C)、分岐管内の流れ (D)、複数 Bluff Body まわりの流れ (E) や予混合燃焼器内の流れ (F) などである。

ここに示しているのは X 方向速度 u 分布のみであり、これらの応用例の計算は 3. 1 のダクト計算や 3. 2 の円柱まわりの計算と同じように計算領域は $10D \times 10D$ で、格子数は 64×64 とした。またレイノルズ数は $R_e = 100$ 、流入条件や流出条件等は 3. 2 の計算と同じにした。つまり、開発した計算プログラムを変更することなく、V-CAD データを直接に入力するだけで、任意形状の流れ場を計算できるようになった。

【0068】

4. 結論

(1) V-CAD データを直接利用する流体解析方法を開発し、内部流・外部流とともにベンチマークテストを用いて検証した。その結果、本発明で提案したカットセル VOF 解析方法は十分な安定性を有し、境界適合格子に劣らない計算精度を持つことが検証された。

(2) 流れ場の形状に関しては、どんな複雑な形状があっても、V-CAD データさえ読み込めば、短時間で直接二次元の非圧縮性粘性流れの数値シミュレーションができるようになった。

【0069】

【発明の効果】

上述したように、次世代 CAD として期待されている V-CAD ポクセルデータを直接利用する任意形状の非圧縮粘性流れ場の数値解析方法の開発を行った。

流れ場の境界には、VOF法を併用したカットセル有限体積法を用いた。二次元のチャンネル内流れと円柱まわり流れを用いて調べた結果、この方法はある程度の精度と安定性を有し、計算コストがあまりかからない実用計算方法であること分かった。

【0070】

従って、本発明のV-CADデータを直接用いた非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法と装置は、格子生成を完全に自動化することができ、物体境界の表現が容易であり、比較的簡単な計算処理により、精度の高いシミュレーションを短時間で行うことができる等の優れた効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の数値解析方法を実行するための数値解析装置の構成図である。

【図2】

本発明の数値解析方法とそのプログラムのフロー図である。

【図3】

二次元における開口率の定義を示す図である。

【図4】

境界セルにおける有限体積法による空間離散化の説明図である。

【図5】

解析した3ケースのVOF分布を示すCRT上の中間調画像である。

【図6】

解析した3ケースの流れ方向速度の分布と理論解析解との比較図である。

【図7】

解析格子とVOF分布を示すCRT上の中間調画像である。

【図8】

速度ベクトルを示すCRT上の中間調画像である。

【図9】

圧力等值線を示すCRT上の中間調画像である。

【図10】

本発明による平均抗力係数を示す図である。

【図11】

本発明による平均Strouhal数を示す図である。

【図12】

直交適合格子法による静止円柱の抗力係数（A）と揚力係数（B）を示す図である。

【図13】

一般座標系境界適合格子による静止円柱の抗力係数（A）と揚力係数（B）を示す図である。

【図14】

$Re = 300$, $T = 2.5$ の場合の実験による流脈線（A）と本発明による流線（B）を示すCRT上の中間調画像である。

【図15】

$Re = 550$, $T = 2.5$ の場合の実験による流脈線（A）と本発明による流線（B）を示すCRT上の中間調画像である。

【図16】

抗力と揚力の履歴変化を示す本発明の結果（A）と部分境界適合直交格子法の結果（B）である。

【図17】

実用問題に向けての応用例を示すCRT上の中間調画像である。

【図18】

先行出願の実体データの記憶方法のフロー図である。

【符号の説明】

2 入力装置、3 外部記憶装置、4 内部記憶装置、

5 中央処理装置、6 出力装置、

10 数値解析装置、12 外部データ、

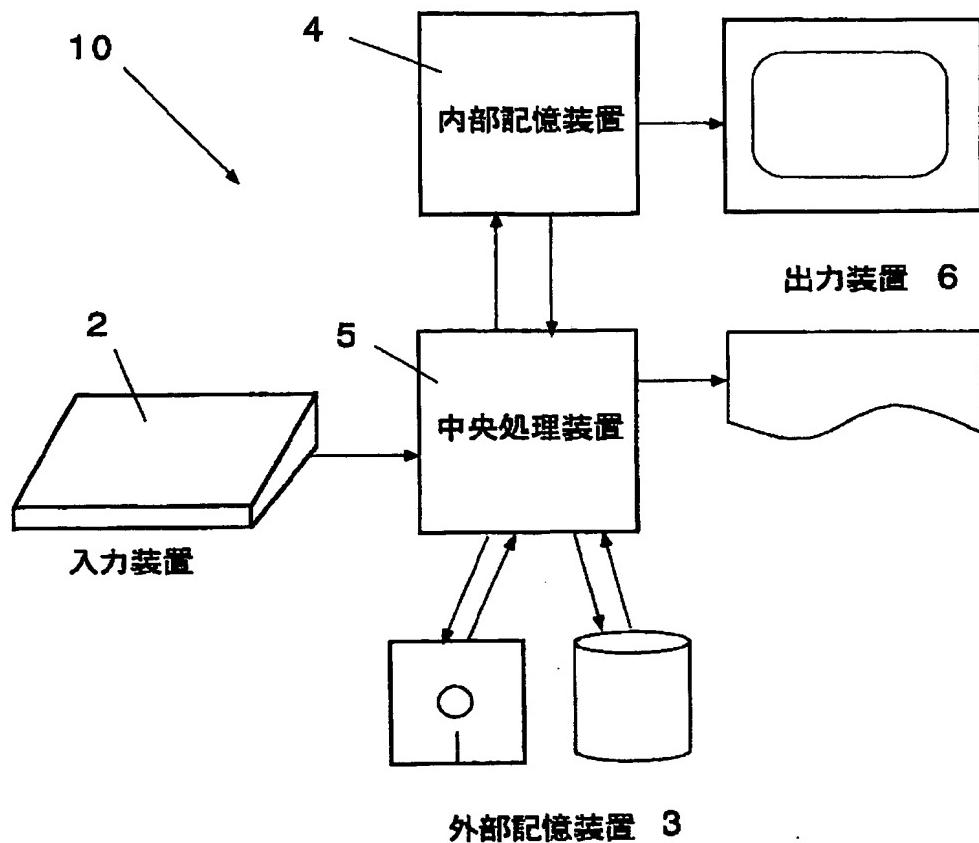
13 セル、13a 内部セル、13b 境界セル、

14 V-CADデータ

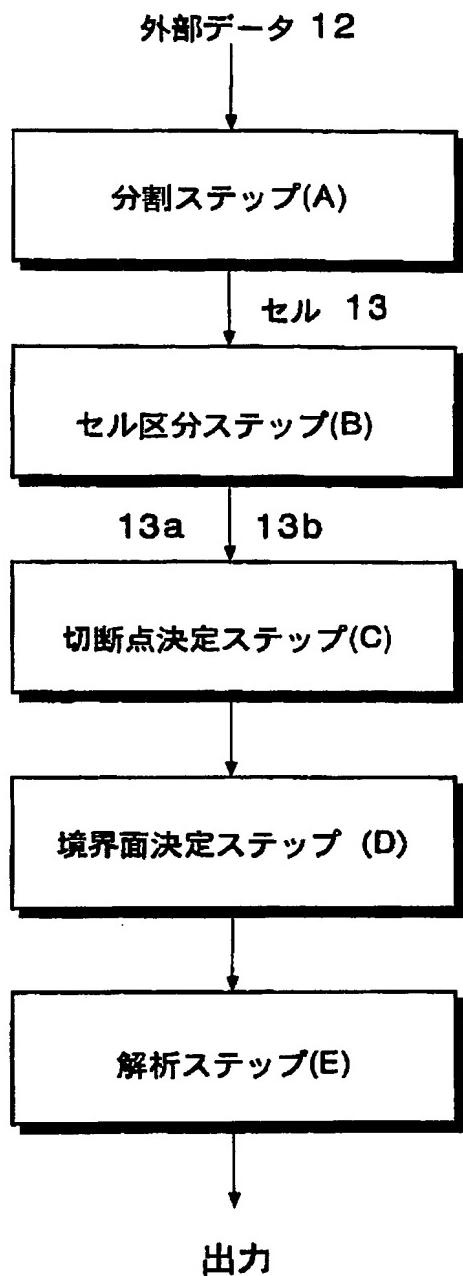
【書類名】

図面

【図1】

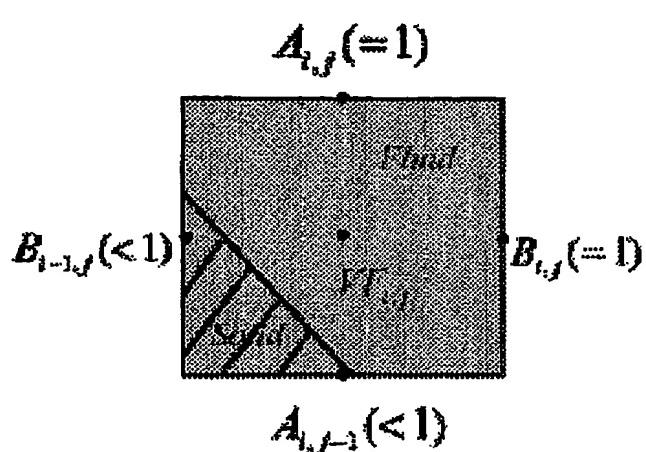


【図2】

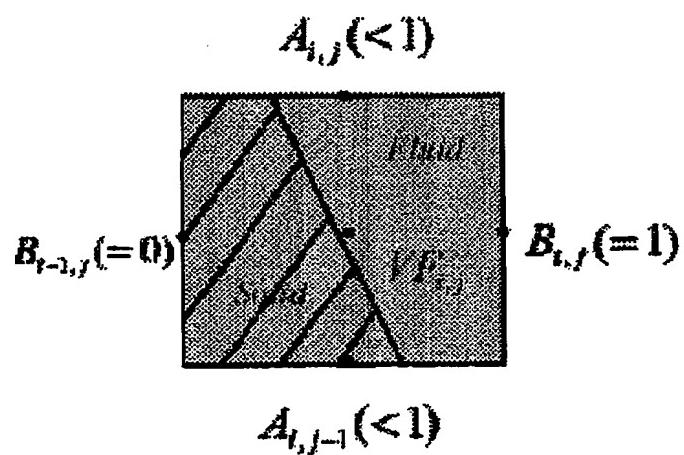


【図3】

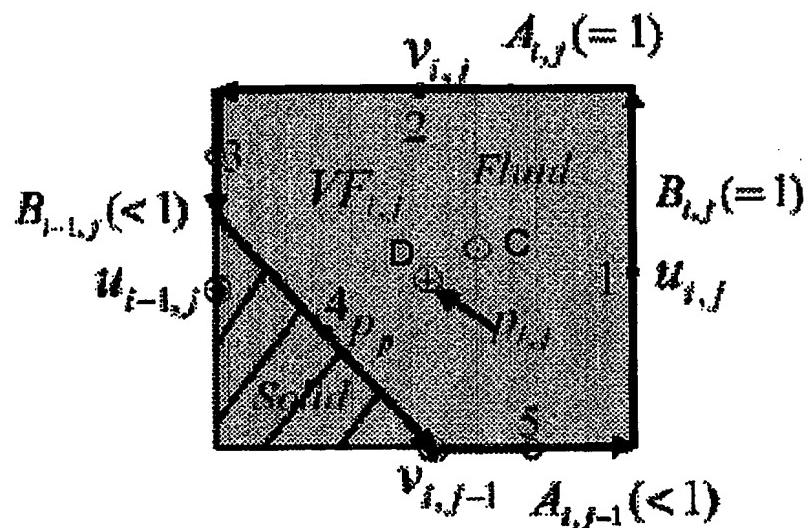
(A)



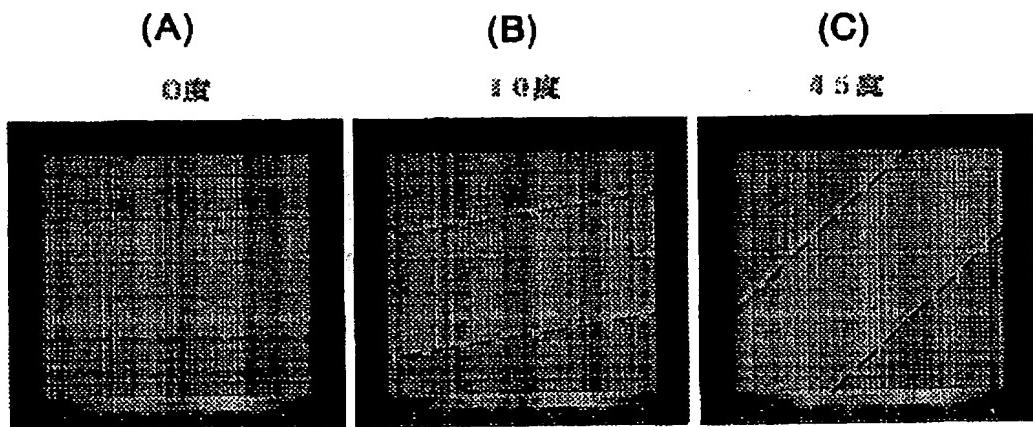
(B)



【図4】

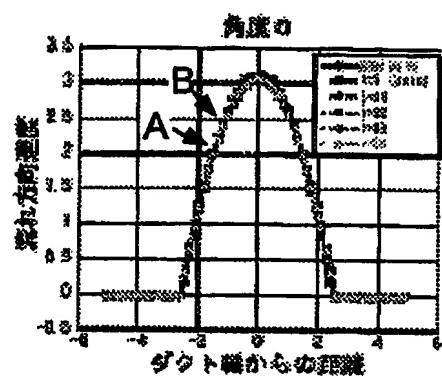


【図5】

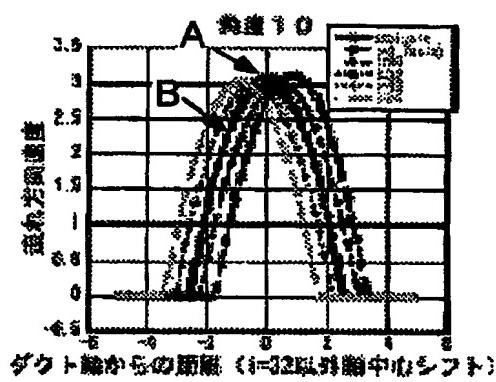


【図6】

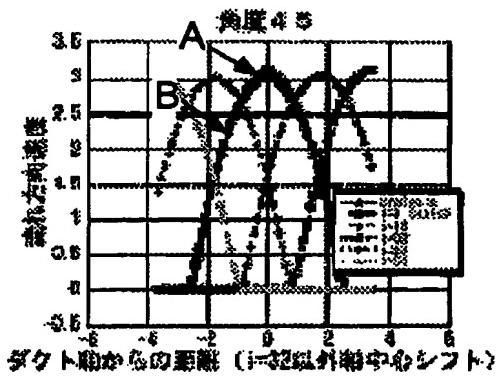
(A)



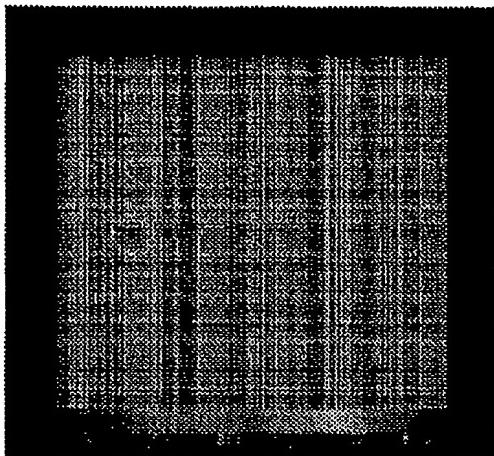
(B)



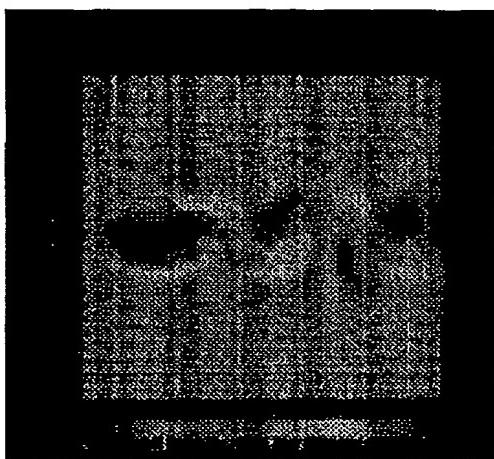
(C)



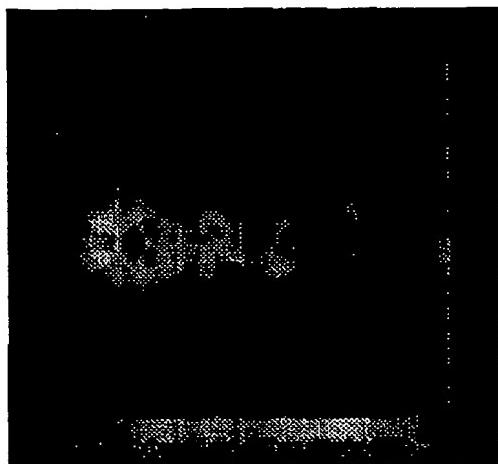
【図7】



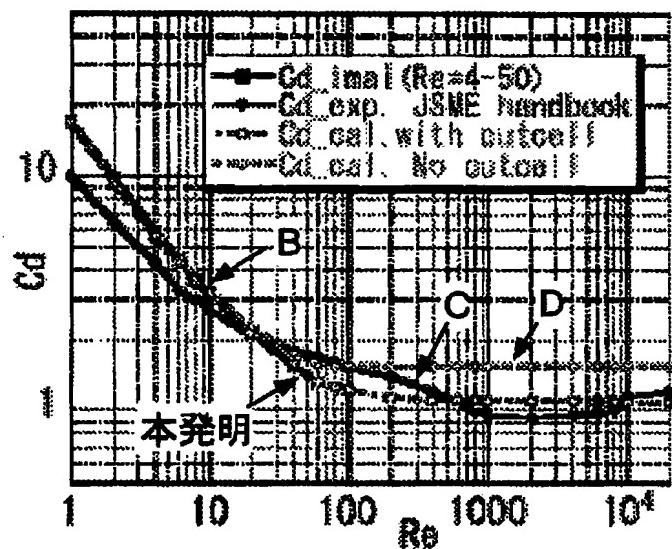
【図8】



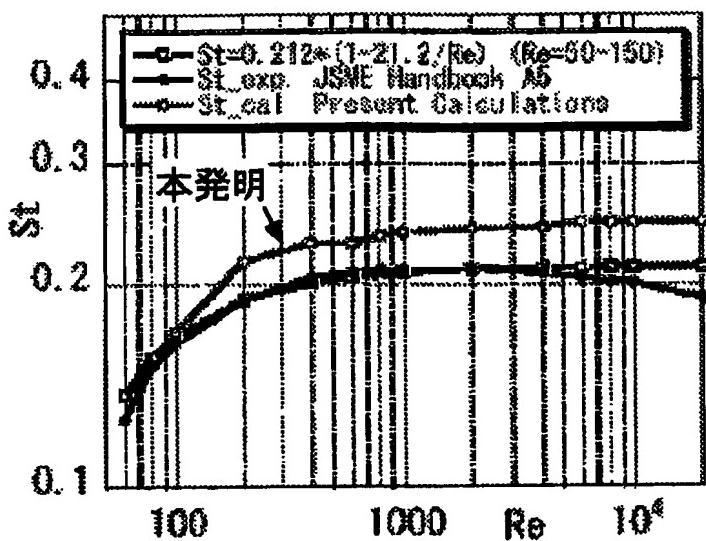
【図9】



【図10】

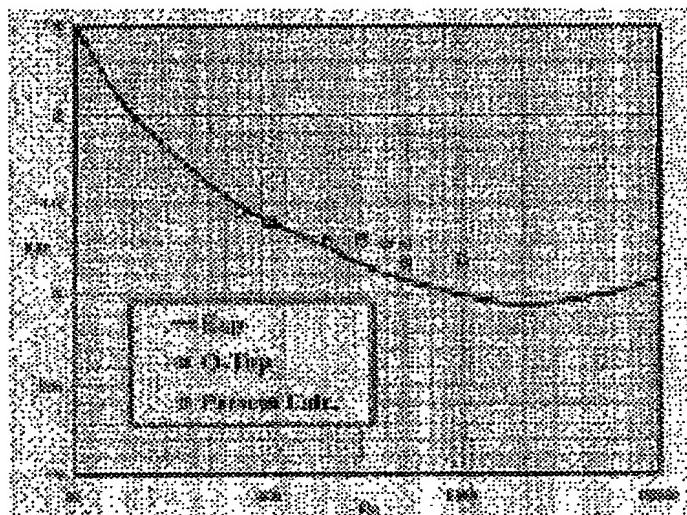


【図11】

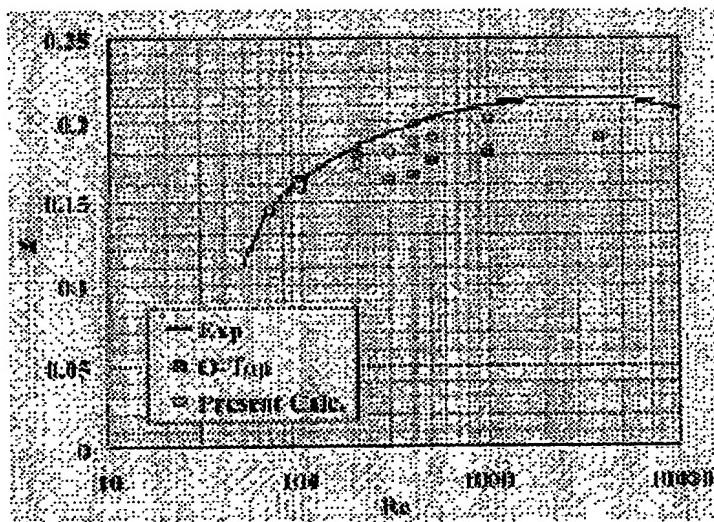


【図12】

(A)

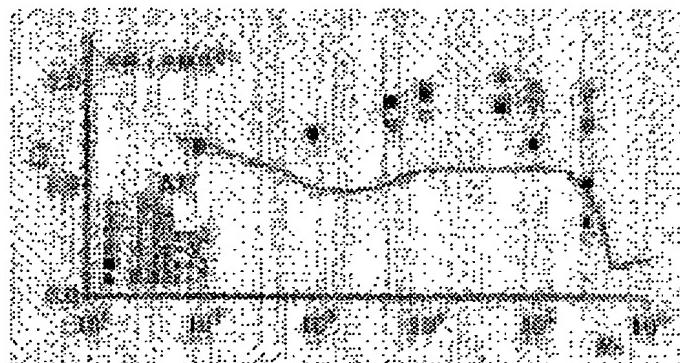


(B)

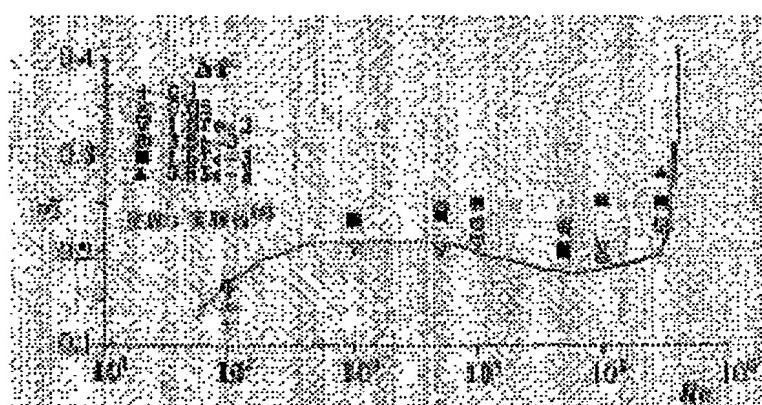


【図13】

(A)

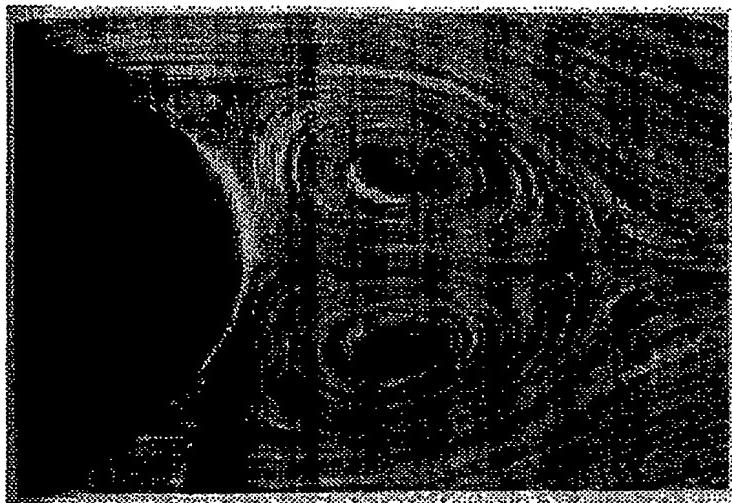


(B)

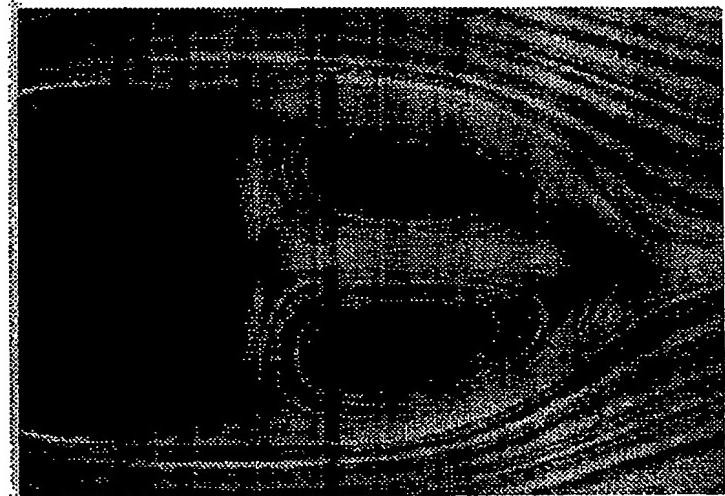


【図14】

(A)

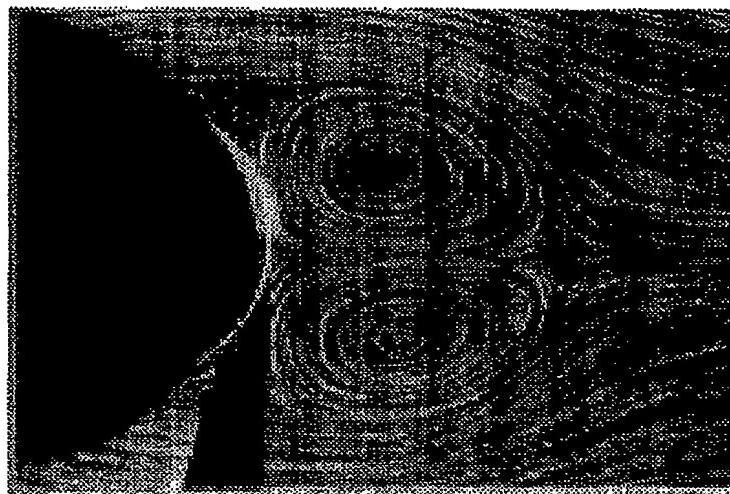


(B)

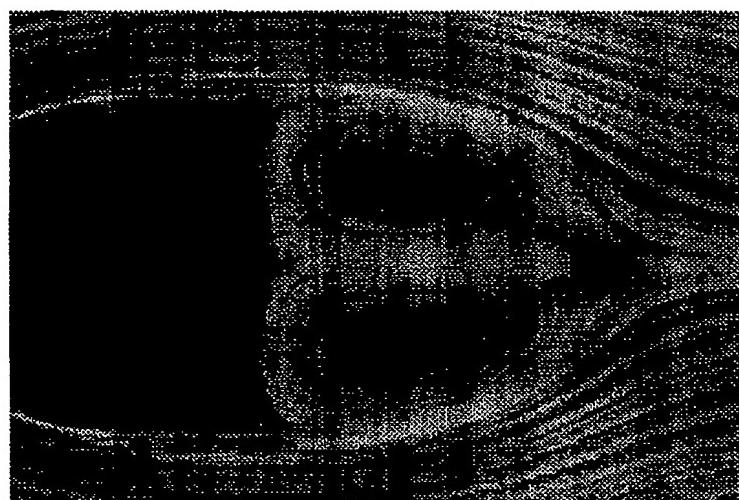


【図1.5】

(A)

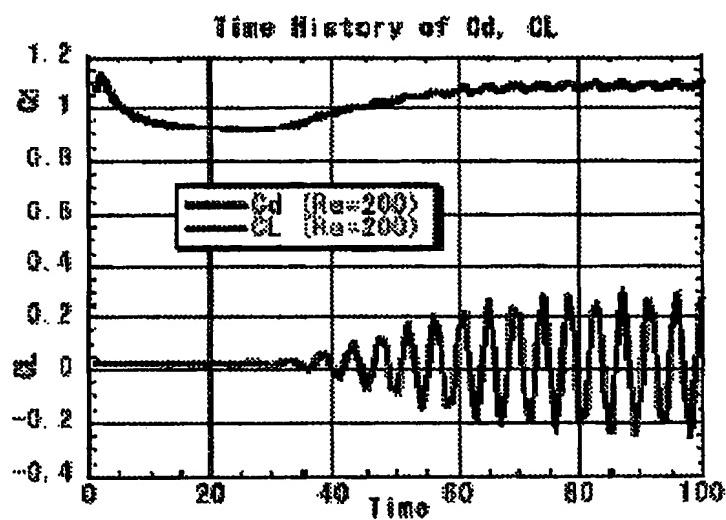


(B)

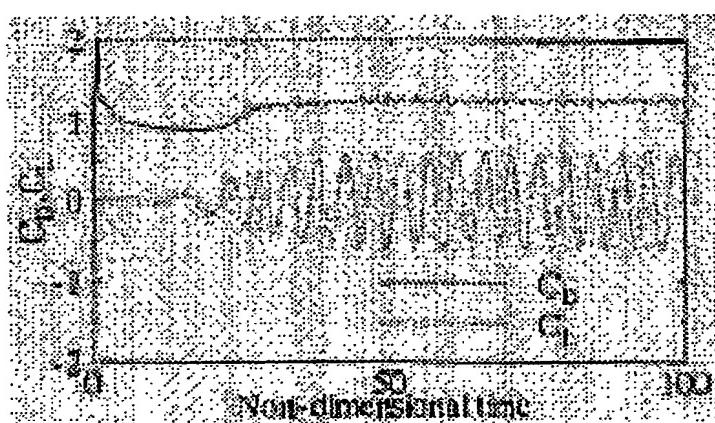


【図16】

(A)

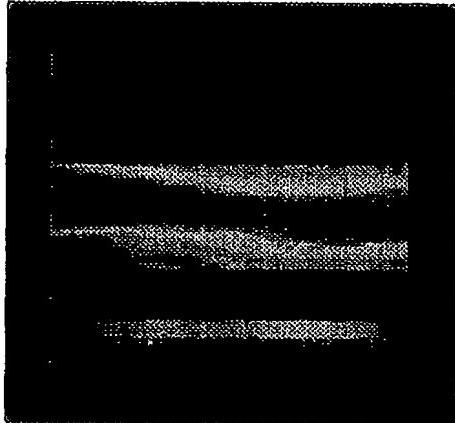


(B)



【図17】

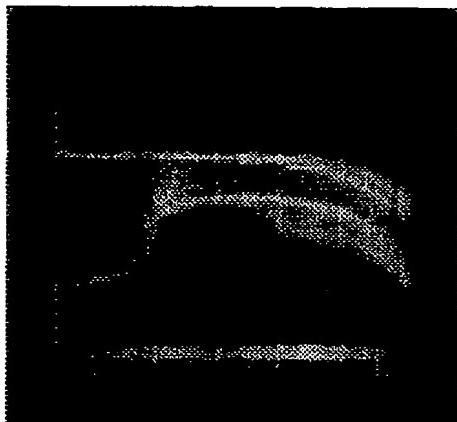
(A)



(B)



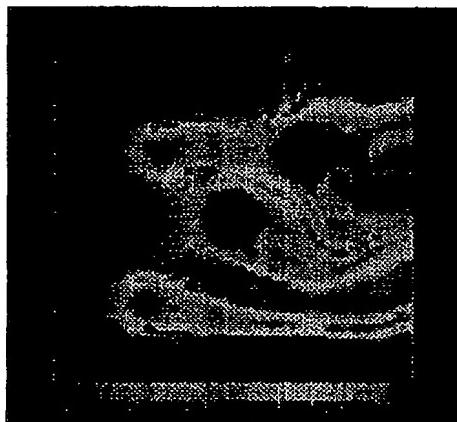
(C)



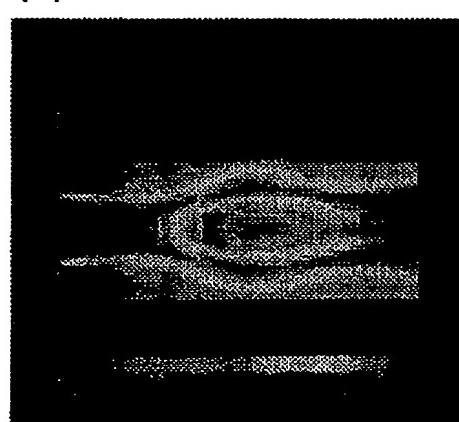
(D)



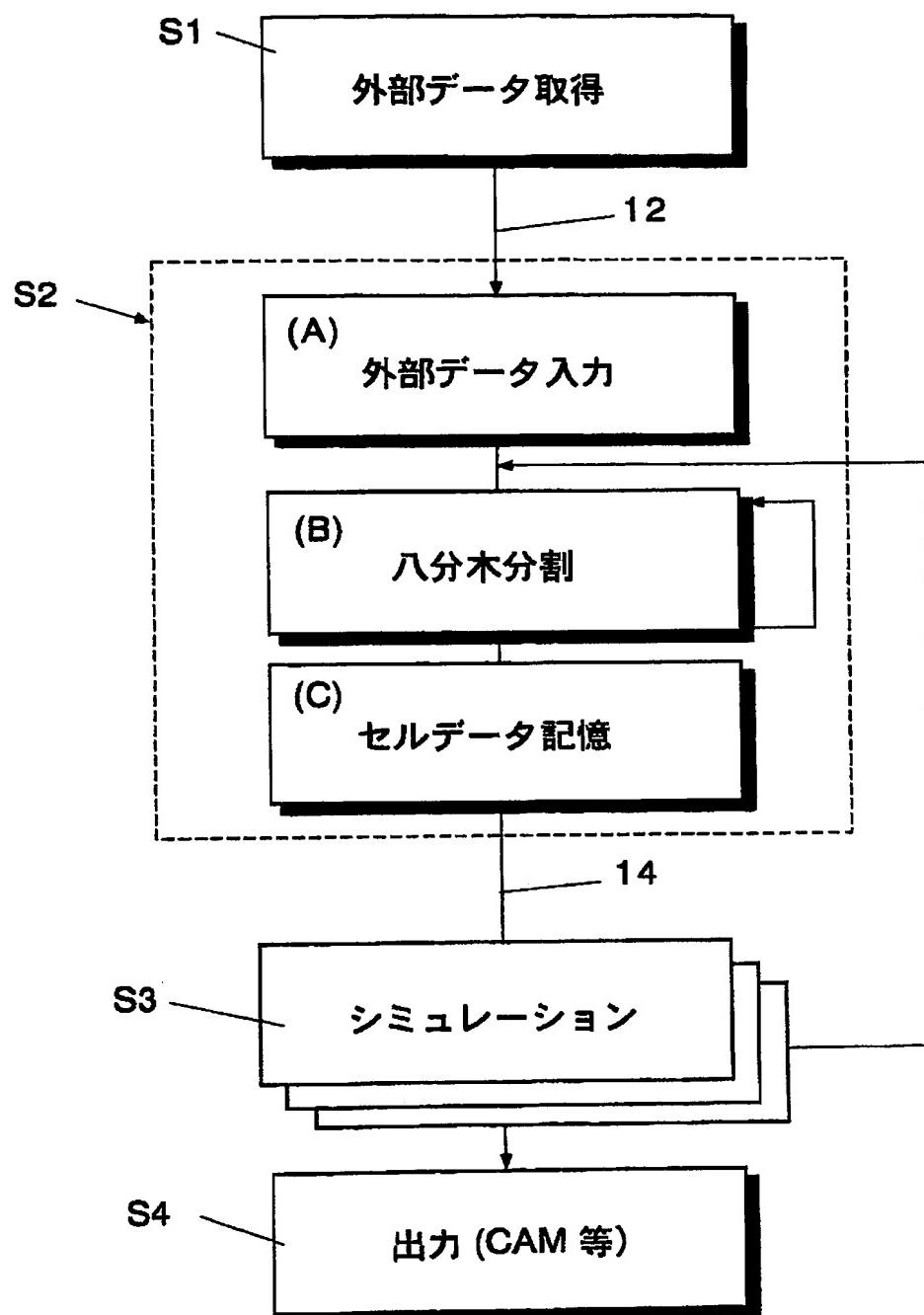
(E)



(F)



【図18】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 格子生成を完全に自動化することができ、物体境界の表現が容易であり、比較的簡単な計算処理により、精度の高いシミュレーションを短時間で行うことができるV-CADデータを直接用いた非圧縮性粘性流体の流れ場の数値解析方法と装置を提供する。

【解決手段】 非圧縮性粘性流体と接する対象物の境界データからなる外部データ12を境界が直交する複数のセル13に分割する分割ステップ（A）と、分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル13aと境界データを含む境界セル13bとに区分するセル区分ステップ（B）と、境界データによる境界セル13bの稜線の切断点を求める切断点決定ステップ（C）と、求めた切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする境界面決定ステップDと、流れ場の境界に、VOF法を併用したカットセル有限体積法を適用して解析する解析ステップ（E）とを備える。

【選択図】 図2

【書類名】 出願人名義変更届（一般承継）
【提出日】 平成15年12月 1日
【あて先】 特許庁長官殿
【事件の表示】
【出願番号】 特願2002-379214
【承継人】
【識別番号】 503359821
【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号
【氏名又は名称】 独立行政法人理化学研究所
【承継人代理人】
【識別番号】 100075812
【弁理士】
【氏名又は名称】 吉武 賢次
【提出物件の目録】
【物件名】 権利の承継を証明する書面 1
【援用の表示】 平成15年11月20日提出の特許第1575167号外98件
にかかる一般承継による特許権の移転登録申請書
登記簿謄本 1
【物件名】 平成15年11月20日提出の特許第1575167号外98件
にかかる一般承継による特許権の移転登録申請書
【物件名】 委任状 1

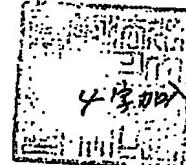
【物件名】

委任状

【添付書類】



委 任 状



私は、

識別番号 100075812 弁理士 吉 武 賢 次 氏
を代理人と定めて下記事項を委任する。

- 954件
1. 別紙目録に記載の特許出願に関する出願人名義変更届をする件
 2. 上記各項の手続を処理するため復代理人を選任及び解任する件

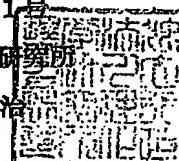
以 上

平成15年11月13日

住所又は居所 埼玉県和光市広沢2番1号

氏名又は名称 独立行政法人 理化学研究所

代 表 者 理事長 野 依 良 治



目録(1)

1. 特願昭 63-235737	51. 特願平 07-327372
2. 特願平 05-044143	52. 特願平 08-000652
3. 特願平 05-127257	53. 特願平 08-026368
4. 特願平 05-127258	54. 特願平 08-030850
5. 特願平 05-213675	55. 特願平 08-041279
6. 特願平 05-306164	56. 特願平 08-045903
7. 特願平 05-328611	57. 特願平 08-051604
8. 特願平 05-336746	58. 特願平 08-065715
9. 特願平 06-035100	59. 特願平 08-070071
10. 特願平 06-061792	60. 特願平 08-105667
11. 特願平 06-061793	61. 特願平 08-107784
12. 特願平 06-069150	62. 特願平 08-116473
13. 特願平 06-097098	63. 特願平 08-123475
14. 特願平 06-111624	64. 特願平 08-127005
15. 特願平 06-121100	65. 特願平 08-131746
16. 特願平 06-145908	66. 特願平 08-132846
17. 特願平 06-158670	67. 特願平 08-132854
18. 特願平 06-158671	68. 特願平 08-142676
19. 特願平 06-165751	69. 特願平 08-158078
20. 特願平 06-165752	70. 特願平 08-167401
21. 特願平 06-181857	71. 特願平 08-196331
22. 特願平 06-235742	72. 特願平 08-197050
23. 特願平 06-238603	73. 特願平 08-197051
24. 特願平 06-244764	74. 特願平 08-211946
25. 特願平 06-248486	75. 特願平 08-216506
26. 特願平 06-252942	76. 特願平 08-216508
27. 特願平 06-268723	77. 特願平 08-222352
28. 特願平 06-293933	78. 特願平 08-231066
29. 特願平 06-301372	79. 特願平 08-233442
30. 特願平 06-323795	80. 特願平 08-236685
31. 特願平 06-324490	81. 特願平 08-251410
32. 特願平 06-507968 (不記2002-12420) 82.	特願平 08-262051
33. 特願平 07-007185	83. 特願平 08-302896
34. 特願平 07-069255	84. 特願平 08-308335
35. 特願平 07-082880	85. 特願平 08-308336
36. 特願平 07-083142	86. 特願平 08-311467
37. 特願平 07-117933	87. 特願平 08-315093
38. 特願平 07-133487	88. 特願平 08-317622
39. 特願平 07-205141	89. 特願平 08-320241
40. 特願平 07-214659	90. 特願平 08-506395
41. 特願平 07-217276	91. 特願平 09-002295
42. 特願平 07-236185	92. 特願平 09-010602
43. 特願平 07-240684	93. 特願平 09-019968
44. 特願平 07-249244	94. 特願平 09-019969
45. 特願平 07-259922	95. 特願平 09-019971
46. 特願平 07-282716	96. 特願平 09-024890
47. 特願平 07-302793	97. 特願平 09-028982
48. 特願平 07-306004	98. 特願平 09-046824
49. 特願平 07-311711	99. 特願平 09-049254
50. 特願平 07-311715	100. 特願平 09-053478

目録(2)

101. 特願平09-054595
 102. 特願平09-056654
 103. 特願平09-057342
 104. 特願平09-058774
 105. 特願平09-067611
 106. 特願平09-074394
 107. 特願平09-080480
 108. 特願平09-082965
 109. 特願平09-091523
 110. 特願平09-091591
 111. 特願平09-091694
 112. 特願平09-096968
 113. 特願平09-099061
 114. 特願平09-099109
 115. 特願平09-104093
 116. 特願平09-119730
 117. 特願平09-129068
 118. 特願平09-134525
 119. 特願平09-147964
 120. 特願平09-155364
 121. 特願平09-159963
 122. 特願平09-163630
 123. 特願平09-163631
 124. 特願平09-171924
 125. 特願平09-175896
 126. 特願平09-180423
 127. 特願平09-189436
 128. 特願平09-198201
 129. 特願平09-208866
 130. 特願平09-221067
 131. 特願平09-228345
 132. 特願平09-230870
 133. 特願平09-253740
 134. 特願平09-256795
 135. 特願平09-271782
 136. 特願平09-291995
 137. 特願平09-297084
 138. 特願平09-307627
 139. 特願平09-308597
 140. 特願平09-309848
 141. 特願平09-327140
 142. 特願平09-327609
 143. 特願平09-328742
 144. 特願平09-360327
 145. 特願平10-002030
 146. 特願平10-010471
 147. 特願平10-014152
 148. 特願平10-015690
 149. 特願平10-024892
 150. 特願平10-043335
 151. 特願平10-045434
 152. 特願平10-049499
 153. 特願平10-049867
 154. 特願平10-051489
 155. 特願平10-051490
 156. 特願平10-051491
 157. 特願平10-051492
 158. 特願平10-051493
 159. 特願平10-060740
 160. 特願平10-060741
 161. 特願平10-061895
 162. 特願平10-076139
 163. 特願平10-085207
 164. 特願平10-085208
 165. 特願平10-103083
 166. 特願平10-103115
 167. 特願平10-103671
 168. 特願平10-104093
 169. 特願平10-113493
 170. 特願平10-116378
 171. 特願平10-121456
 172. 特願平10-127520
 173. 特願平10-136198
 174. 特願平10-149603
 175. 特願平10-150494
 176. 特願平10-151245
 177. 特願平10-155838
 178. 特願平10-155841
 179. 特願平10-156104
 180. 特願平10-156108
 181. 特願平10-198313
 182. 特願平10-200280
 183. 特願平10-217132
 184. 特願平10-217180
 185. 特願平10-222837
 186. 特願平10-227939
 187. 特願平10-229591
 188. 特願平10-232520
 189. 特願平10-232590
 190. 特願平10-236009
 191. 特願平10-237485
 192. 特願平10-238144
 193. 特願平10-245293
 194. 特願平10-250598
 195. 特願平10-250611
 196. 特願平10-252128
 197. 特願平10-260347
 198. 特願平10-260416
 199. 特願平10-268791
 200. 特願平10-269859

目録(3)

201. 特願平10-272529
 202. 特願平10-280351
 203. 特願平10-308533
 204. 特願平10-309765
 205. 特願平10-311673
 206. 特願平10-311674
 207. 特願平10-311675
 208. 特願平10-314856
 209. 特願平10-315751
 210. 特願平10-338896
 211. 特願平10-338897
 212. 特願平10-338898
 213. 特願平10-338899
 214. 特願平10-352428
 215. 特願平10-354665
 216. 特願平10-363297
 217. 特願平10-363329
 218. 特願平10-506788
 219. 特願平10-532832
 220. 特願平10-535583
 221. 特願平11-008183
 222. 特願平11-013380
 223. 特願平11-015176
 224. 特願平11-031724
 225. 特願平11-035776
 226. 特願平11-046372
 227. 特願平11-055835
 228. 特願平11-055867
 229. 特願平11-055930
 230. 特願平11-056957
 231. 特願平11-057381
 232. 特願平11-057749
 233. 特願平11-058103
 234. 特願平11-061079
 235. 特願平11-061080
 236. 特願平11-064193
 237. 特願平11-064372
 238. 特願平11-064506
 239. 特願平11-065136
 240. 特願平11-074385
 241. 特願平11-081225
 242. 特願平11-090383
 243. 特願平11-091875
 244. 特願平11-103231
 245. 特願平11-104509
 246. 特願平11-106920
 247. 特願平11-124187
 248. 特願平11-130771
 249. 特願平11-130814
 250. 特願平11-130815
 251. 特願平11-135137
 252. 特願平11-135482
 253. 特願平11-143429
 254. 特願平11-144005
 255. 特願平11-147097
 256. 特願平11-151099
 257. 特願平11-166247
 258. 特願平11-173839
 259. 特願平11-179278
 260. 特願平11-186052
 261. 特願平11-193235
 262. 特願平11-224269
 263. 特願平11-225060
 264. 特願平11-225832
 265. 特願平11-225839
 266. 特願平11-226176
 267. 特願平11-234800
 268. 特願平11-240325
 269. 特願平11-240910
 270. 特願平11-241737
 271. 特願平11-242438
 272. 特願平11-242490
 273. 特願平11-253851
 274. 特願平11-260947
 275. 特願平11-277759
 276. 特願平11-278976
 277. 特願平11-279324
 278. 特願平11-281632
 279. 特願平11-303976
 280. 特願平11-309616
 281. 特願平11-315036
 282. 特願平11-321282
 283. 特願平11-336079
 284. 特願平11-346467
 285. 特願平11-354563
 286. 特願平11-360274
 287. 特願平11-365899
 288. 特願平11-373483
 289. 特願平11-510791
 290. 特願平11-515324
 291. 特願2000-001783
 292. 特願2000-005221
 293. 特願2000-009363
 294. 特願2000-010516
 295. 特願2000-011147
 296. 特願2000-011623
 297. 特願2000-016518
 298. 特願2000-016622
 299. 特願2000-017112
 300. 特願2000-018612

目録(4)

301. 特願2000-019195
 302. 特願2000-019528
 303. 特願2000-020067
 304. 特願2000-030321
 305. 特願2000-034109
 306. 特願2000-039082
 307. 特願2000-040355
 308. 特願2000-041927
 309. 特願2000-041929
 310. 特願2000-045318
 311. 特願2000-045855
 312. 特願2000-051488
 313. 特願2000-051650
 314. 特願2000-052040
 315. 特願2000-053707
 316. 特願2000-054949
 317. 特願2000-056093
 318. 特願2000-056879
 319. 特願2000-057584
 320. 特願2000-057565
 321. 特願2000-057566
 322. 特願2000-058133
 323. 特願2000-058282
 324. 特願2000-062316
 325. 特願2000-064142
 326. 特願2000-064209
 327. 特願2000-071119
 328. 特願2000-076122
 329. 特願2000-085874
 330. 特願2000-089078
 331. 特願2000-092693
 332. 特願2000-100395
 333. 特願2000-105139
 334. 特願2000-105917
 335. 特願2000-107160
 336. 特願2000-108409
 337. 特願2000-109638
 338. 特願2000-109954
 339. 特願2000-118361
 340. 特願2000-120874
 341. 特願2000-123634
 342. 特願2000-128431
 343. 特願2000-131049
 344. 特願2000-131050
 345. 特願2000-131745
 346. 特願2000-134427
 347. 特願2000-136551
 348. 特願2000-136572
 349. 特願2000-138977
 350. 特願2000-141566
 351. 特願2000-141763
 352. 特願2000-148843
 353. 特願2000-152455
 354. 特願2000-152469
 355. 特願2000-154484
 356. 特願2000-161895
 357. 特願2000-163122
 358. 特願2000-164584
 359. 特願2000-179723
 360. 特願2000-181281
 361. 特願2000-184259
 362. 特願2000-184295
 363. 特願2000-191007
 364. 特願2000-191265
 365. 特願2000-192332
 366. 特願2000-193817
 367. 特願2000-195384
 368. 特願2000-196991
 369. 特願2000-197022
 370. 特願2000-202801
 371. 特願2000-216457
 372. 特願2000-223714
 373. 特願2000-224970
 374. 特願2000-225486
 375. 特願2000-225864
 376. 特願2000-225978
 377. 特願2000-226361
 378. 特願2000-229191
 379. 特願2000-230551
 380. 特願2000-237165
 381. 特願2000-237166
 382. 特願2000-237533
 383. 特願2000-246309
 384. 特願2000-248331
 385. 特願2000-249232
 386. 特願2000-256149
 387. 特願2000-257080
 388. 特願2000-257083
 389. 特願2000-260030
 390. 特願2000-261233
 391. 特願2000-264743
 392. 特願2000-265344
 393. 特願2000-278502
 394. 特願2000-279557
 395. 特願2000-292422
 396. 特願2000-292832
 397. 特願2000-299812
 398. 特願2000-307464
 399. 特願2000-308248
 400. 特願2000-309581

目録(5)

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 401. 特願2000-319775 | 451. 特願2001-071435 |
| 402. 特願2000-322056 | 452. 特願2001-072650 |
| 403. 特願2000-333311 | 453. 特願2001-072668 |
| 404. 特願2000-334686 | 454. 特願2001-072963 |
| 405. 特願2000-334969 | 455. 特願2001-073028 |
| 406. 特願2000-343912 | 456. 特願2001-074964 |
| 407. 特願2000-347398 | 457. 特願2001-074965 |
| 408. 特願2000-347865 | 458. 特願2001-077257 |
| 409. 特願2000-358121 | 459. 特願2001-078671 |
| 410. 特願2000-368566 | 460. 特願2001-084173 |
| 411. 特願2000-374626 | 461. 特願2001-089541 |
| 412. 特願2000-375090 | 462. 特願2001-091911 |
| 413. 特願2000-378421 | 463. 特願2001-092337 |
| 414. 特願2000-378942 | 464. 特願2001-116171 |
| 415. 特願2000-378950 | 465. 特願2001-124294 |
| 416. 特願2000-384771 | 466. 特願2001-124452 |
| 417. 特願2000-387016 | 467. 特願2001-127575 |
| 418. 特願2000-394815 | 468. 特願2001-127576 |
| 419. 特願2000-396445 | 469. 特願2001-135357 |
| 420. 特願2000-399940 | 470. 特願2001-137087 |
| 421. 特願2000-400336 | 471. 特願2001-138103 |
| 422. 特願2000-401110 | 472. 特願2001-142583 |
| 423. 特願2000-401245 | 473. 特願2001-147081 |
| 424. 特願2000-401258 | 474. 特願2001-152364 |
| 425. 特願2000-503838 | 475. 特願2001-152379 |
| 426. 特願2000-571733 | 476. 特願2001-153447 |
| 427. 特願2000-571943 | 477. 特願2001-155572 |
| 428. 特願2000-602588 | 478. 特願2001-163740 |
| 429. 特願2000-602900 | 479. 特願2001-164819 |
| 430. 特願2000-618709 | 480. 特願2001-164997 |
| 431. 特願2001-003476 | 481. 特願2001-165133 |
| 432. 特願2001-005815 | 482. 特願2001-167910 |
| 433. 特願2001-007979 | 483. 特願2001-168784 |
| 434. 特願2001-016626 | 484. 特願2001-171705 |
| 435. 特願2001-025030 | 485. 特願2001-173331 |
| 436. 特願2001-037141 | 486. 特願2001-174421 |
| 437. 特願2001-037147 | 487. 特願2001-174553 |
| 438. 特願2001-042501 | 488. 特願2001-175898 |
| 439. 特願2001-044933 | 489. 特願2001-178169 |
| 440. 特願2001-047762 | 490. 特願2001-179858 |
| 441. 特願2001-050645 | 491. 特願2001-180552 |
| 442. 特願2001-053550 | 492. 特願2001-180554 |
| 443. 特願2001-054717 | 493. 特願2001-187735 |
| 444. 特願2001-059115 | 494. 特願2001-197185 |
| 445. 特願2001-059892 | 495. 特願2001-197897 |
| 446. 特願2001-060848 | 496. 特願2001-200854 |
| 447. 特願2001-062703 | 497. 特願2001-201356 |
| 448. 特願2001-065799 | 498. 特願2001-202971 |
| 449. 特願2001-065917 | 499. 特願2001-203089 |
| 450. 特願2001-068285 | 500. 特願2001-206505 |

目録(6)

501.	特願2001-206522	551.	特願2001-325367
502.	特願2001-206523	552.	特願2001-326872
503.	特願2001-209305	553.	特願2001-327853
504.	特願2001-212947	554.	特願2001-329023
505.	特願2001-216505	555.	特願2001-332168
506.	特願2001-220219	556.	特願2001-337467
507.	特願2001-226176	557.	特願2001-339396
508.	特願2001-228287	558.	特願2001-339593
509.	特願2001-228374	559.	特願2001-346035
510.	特願2001-235412	560.	特願2001-347316
511.	特願2001-235747	561.	特願2001-347637
512.	特願2001-238951	562.	特願2001-349614
513.	特願2001-241023	563.	特願2001-351730
514.	特願2001-243930	564.	特願2001-352189
515.	特願2001-246642	565.	特願2001-353038
516.	特願2001-249976	566.	特願2001-358446
517.	特願2001-254377	567.	特願2001-358581
518.	特願2001-254378	568.	特願2001-359710
519.	特願2001-255589	569.	特願2001-374928
520.	特願2001-256576	570.	特願2001-376591
521.	特願2001-257188	571.	特願2001-378757
522.	特願2001-261158	572.	特願2001-380473
523.	特願2001-266004	573.	特願2001-382537
524.	特願2001-266069	574.	特願2001-382539
525.	特願2001-266454	575.	特願2001-382599
526.	特願2001-267194	576.	特願2001-385258
527.	特願2001-267379	577.	特願2001-385512
528.	特願2001-267863	578.	特願2001-385513
529.	特願2001-272977	579.	特願2001-385538
530.	特願2001-273964	580.	特願2001-388116
531.	特願2001-276053	581.	特願2001-390122
532.	特願2001-279406	582.	特願2001-392087
533.	特願2001-280319	583.	特願2001-392088
534.	特願2001-285145	584.	特願2001-395196
535.	特願2001-291059	585.	特願2001-396120
536.	特願2001-292223	586.	特願2001-397762
537.	特願2001-292224	587.	特願2001-397998
538.	特願2001-293000	588.	特願2001-401139
539.	特願2001-293054	589.	特願2001-515803
540.	特願2001-293936	590.	特願2001-523852
541.	特願2001-294013	591.	特願2001-557672
542.	特願2001-298140	592.	特願2002-000993
543.	特願2001-298402	593.	特願2002-005746
544.	特願2001-307340	594.	特願2002-010344
545.	特願2001-309501	595.	特願2002-011558
546.	特願2001-309508	596.	特願2002-019752
547.	特願2001-309984	597.	特願2002-020329
548.	特願2001-310554	598.	特願2002-022499
549.	特願2001-313430	599.	特願2002-028046
550.	特願2001-319360	600.	特願2002-028109

目録(7)

601.	特願2002-040151	651.	特願2002-162157
602.	特願2002-042829	652.	特願2002-162211
603.	特願2002-044340	653.	特願2002-162365
604.	特願2002-044640	654.	特願2002-167759
605.	特願2002-046188	655.	特願2002-170068
606.	特願2002-047799	656.	特願2002-170902
607.	特願2002-053190	657.	特願2002-176435
608.	特願2002-053575	658.	特願2002-176583
609.	特願2002-055272	659.	特願2002-183722
610.	特願2002-057253	660.	特願2002-185966
611.	特願2002-057565	661.	特願2002-187362
612.	特願2002-057935	662.	特願2002-187957
613.	特願2002-057963	663.	特願2002-188281
614.	特願2002-066249	664.	特願2002-189265
615.	特願2002-070624	665.	特願2002-194627
616.	特願2002-070987	666.	特願2002-197812
617.	特願2002-071924	667.	特願2002-201443
618.	特願2002-074902	668.	特願2002-201575
619.	特願2002-078164	669.	特願2002-202118
620.	特願2002-081467	670.	特願2002-205814
621.	特願2002-081502	671.	特願2002-205825
622.	特願2002-083081	672.	特願2002-217714
623.	特願2002-084139	673.	特願2002-221188
624.	特願2002-085017	674.	特願2002-225469
625.	特願2002-087342	675.	特願2002-225724
626.	特願2002-094681	676.	特願2002-226859
627.	特願2002-095132	677.	特願2002-227286
628.	特願2002-095389	678.	特願2002-229686
629.	特願2002-100431	679.	特願2002-230562
630.	特願2002-106561	680.	特願2002-235294
631.	特願2002-119320	681.	特願2002-235737
632.	特願2002-120371	682.	特願2002-236838
633.	特願2002-123347	683.	特願2002-237058
634.	特願2002-128854	684.	特願2002-237092
635.	特願2002-133717	685.	特願2002-248946
636.	特願2002-133749	686.	特願2002-253322
637.	特願2002-134313	687.	特願2002-253689
638.	特願2002-141187	688.	特願2002-253697
639.	特願2002-141438	689.	特願2002-254096
640.	特願2002-142260	690.	特願2002-257924
641.	特願2002-149471	691.	特願2002-260788
642.	特願2002-149931	692.	特願2002-261499
643.	特願2002-150541	693.	特願2002-264969
644.	特願2002-154688	694.	特願2002-267114
645.	特願2002-154695	695.	特願2002-268987
646.	特願2002-154823	696.	特願2002-270917
647.	特願2002-158237	697.	特願2002-271375
648.	特願2002-158352	698.	特願2002-271473
649.	特願2002-160277	699.	特願2002-273996
650.	特願2002-162148	700.	特願2002-274469

目録(8)

- | | | | |
|------|---------------|------|---------------|
| 701. | 特願2002-276051 | 751. | 特願2003-012738 |
| 702. | 特願2002-282746 | 752. | 特願2003-012774 |
| 703. | 特願2002-286487 | 753. | 特願2003-015968 |
| 704. | 特願2002-289209 | 754. | 特願2003-016044 |
| 705. | 特願2002-295332 | 755. | 特願2003-016940 |
| 706. | 特願2002-296911 | 756. | 特願2003-017397 |
| 707. | 特願2002-299429 | 757. | 特願2003-021499 |
| 708. | 特願2002-301875 | 758. | 特願2003-024347 |
| 709. | 特願2002-303838 | 759. | 特願2003-024620 |
| 710. | 特願2002-312131 | 760. | 特願2003-025277 |
| 711. | 特願2002-320102 | 761. | 特願2003-027647 |
| 712. | 特願2002-320704 | 762. | 特願2003-027648 |
| 713. | 特願2002-325909 | 763. | 特願2003-031882 |
| 714. | 特願2002-325920 | 764. | 特願2003-032932 |
| 715. | 特願2002-332232 | 765. | 特願2003-038206 |
| 716. | 特願2002-339344 | 766. | 特願2003-040642 |
| 717. | 特願2002-339392 | 767. | 特願2003-043961 |
| 718. | 特願2002-339541 | 768. | 特願2003-050153 |
| 719. | 特願2002-339551 | 769. | 特願2003-050446 |
| 720. | 特願2002-341195 | 770. | 特願2003-052520 |
| 721. | 特願2002-343807 | 771. | 特願2003-052602 |
| 722. | 特願2002-344279 | 772. | 特願2003-052613 |
| 723. | 特願2002-345597 | 773. | 特願2003-052877 |
| 724. | 特願2002-347401 | 774. | 特願2003-053023 |
| 725. | 特願2002-348760 | 775. | 特願2003-054182 |
| 726. | 特願2002-349042 | 776. | 特願2003-054798 |
| 727. | 特願2002-354594 | 777. | 特願2003-054799 |
| 728. | 特願2002-357768 | 778. | 特願2003-054846 |
| 729. | 特願2002-357900 | 779. | 特願2003-054847 |
| 730. | 特願2002-358019 | 780. | 特願2003-054848 |
| 731. | 特願2002-358967 | 781. | 特願2003-054849 |
| 732. | 特願2002-360972 | 782. | 特願2003-055452 |
| 733. | 特願2002-360975 | 783. | 特願2003-056628 |
| 734. | 特願2002-368112 | 784. | 特願2003-081426 |
| 735. | 特願2002-376555 | 785. | 特願2003-063532 |
| 736. | 特願2002-376774 | 786. | 特願2003-065013 |
| 737. | 特願2002-376831 | 787. | 特願2003-071028 |
| 738. | 特願2002-379214 | 788. | 特願2003-072979 |
| 739. | 特願2002-380624 | 789. | 特願2003-074168 |
| 740. | 特願2002-381888 | 790. | 特願2003-076107 |
| 741. | 特願2002-382170 | 791. | 特願2003-078999 |
| 742. | 特願2002-383870 | 792. | 特願2003-079598 |
| 743. | 特願2002-521644 | 793. | 特願2003-079613 |
| 744. | 特願2002-532458 | 794. | 特願2003-082466 |
| 745. | 特願2002-546564 | 795. | 特願2003-083318 |
| 746. | 特願2002-548185 | 796. | 特願2003-083433 |
| 747. | 特願2002-570743 | 797. | 特願2003-083480 |
| 748. | 特願2003-003450 | 798. | 特願2003-085193 |
| 749. | 特願2003-012550 | 799. | 特願2003-089026 |
| 750. | 特願2003-012694 | 800. | 特願2003-090331 |

目録(9)

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 801. 特願2003-091446 | 851. 特願2003-127135 |
| 802. 特願2003-092654 | 852. 特願2003-127150 |
| 803. 特願2003-093642 | 853. 特願2003-128818 |
| 804. 特願2003-094272 | 854. 特願2003-128897 |
| 805. 特願2003-094719 | 855. 特願2003-129347 |
| 806. 特願2003-095770 | 856. 特願2003-131313 |
| 807. 特願2003-095884 | 857. 特願2003-132280 |
| 808. 特願2003-095885 | 858. 特願2003-132605 |
| 809. 特願2003-095886 | 859. 特願2003-132606 |
| 810. 特願2003-095904 | 860. 特願2003-135591 |
| 811. 特願2003-097283 | 861. 特願2003-136445 |
| 812. 特願2003-097327 | 862. 特願2003-139397 |
| 813. 特願2003-101917 | 863. 特願2003-140684 |
| 814. 特願2003-104928 | 864. 特願2003-142303 |
| 815. 特願2003-105362 | 865. 特願2003-143932 |
| 816. 特願2003-107267 | 866. 特願2003-145221 |
| 817. 特願2003-107268 | 867. 特願2003-145390 |
| 818. 特願2003-107647 | 868. 特願2003-147820 |
| 819. 特願2003-107885 | 869. 特願2003-150690 |
| 820. 特願2003-109575 | 870. 特願2003-153014 |
| 821. 特願2003-115750 | 871. 特願2003-153015 |
| 822. 特願2003-115793 | 872. 特願2003-153016 |
| 823. 特願2003-115847 | 873. 特願2003-153985 |
| 824. 特願2003-115888 | 874. 特願2003-154009 |
| 825. 特願2003-116232 | 875. 特願2003-154841 |
| 826. 特願2003-116895 | 876. 特願2003-155397 |
| 827. 特願2003-118161 | 877. 特願2003-155407 |
| 828. 特願2003-118186 | 878. 特願2003-158017 |
| 829. 特願2003-119749 | 879. 特願2003-161005 |
| 830. 特願2003-119930 | 880. 特願2003-164126 |
| 831. 特願2003-120934 | 881. 特願2003-170051 |
| 832. 特願2003-121233 | 882. 特願2003-170324 |
| 833. 特願2003-121261 | 883. 特願2003-170325 |
| 834. 特願2003-121273 | 884. 特願2003-170326 |
| 835. 特願2003-121780 | 885. 特願2003-170327 |
| 836. 特願2003-122245 | 886. 特願2003-170328 |
| 837. 特願2003-123984 | 887. 特願2003-170329 |
| 838. 特願2003-124654 | 888. 特願2003-170330 |
| 839. 特願2003-124655 | 889. 特願2003-170573 |
| 840. 特願2003-124826 | 890. 特願2003-171576 |
| 841. 特願2003-124829 | 891. 特願2003-171619 |
| 842. 特願2003-124833 | 892. 特願2003-172898 |
| 843. 特願2003-124835 | 893. 特願2003-175819 |
| 844. 特願2003-125388 | 894. 特願2003-177298 |
| 845. 特願2003-125403 | 895. 特願2003-180198 |
| 846. 特願2003-125405 | 896. 特願2003-182958 |
| 847. 特願2003-127090 | 897. 特願2003-192763 |
| 848. 特願2003-127093 | 898. 特願2003-192775 |
| 849. 特願2003-127109 | 899. 特願2003-194837 |
| 850. 特願2003-127130 | 900. 特願2003-197229 |

目録(10)

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 901. 特願2003-198340 | 951. 特願2003-338191 |
| 902. 特願2003-204075 | 952. 特願2003-339542 |
| 903. 特願2003-205349 | 953. 特願2003-340181 |
| 904. 特願2003-205710 | 954. 特願2003-342519 |
| 905. 特願2003-206546 | |
| 906. 特願2003-207698 | |
| 907. 特願2003-207771 | |
| 908. 特願2003-207772 | |
| 909. 特願2003-207850 | |
| 910. 特願2003-270049 | |
| 911. 特願2003-271473 | |
| 912. 特願2003-272421 | |
| 913. 特願2003-275055 | |
| 914. 特願2003-277958 | |
| 915. 特願2003-279130 | |
| 916. 特願2003-283972 | |
| 917. 特願2003-284055 | |
| 918. 特願2003-286640 | |
| 919. 特願2003-289138 | |
| 920. 特願2003-293912 | |
| 921. 特願2003-296474 | |
| 922. 特願2003-298558 | |
| 923. 特願2003-299424 | |
| 924. 特願2003-303979 | |
| 925. 特願2003-304452 | |
| 926. 特願2003-304453 | |
| 927. 特願2003-305689 | |
| 928. 特願2003-305844 | |
| 929. 特願2003-306137 | |
| 930. 特願2003-307564 | |
| 931. 特願2003-313014 | |
| 932. 特願2003-315355 | |
| 933. 特願2003-318801 | |
| 934. 特願2003-321497 | |
| 935. 特願2003-322948 | |
| 936. 特願2003-324974 | |
| 937. 特願2003-326510 | |
| 938. 特願2003-327845 | |
| 939. 特願2003-327907 | |
| 940. 特願2003-328600 | |
| 941. 特願2003-328840 | |
| 942. 特願2003-330418 | |
| 943. 特願2003-330569 | |
| 944. 特願2003-331848 | |
| 945. 特願2003-332756 | |
| 946. 特願2003-333798 | |
| 947. 特願2003-333932 | |
| 948. 特願2003-334036 | |
| 949. 特願2003-334083 | |
| 950. 特願2003-336365 | |

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-379214
受付番号	20308550731
書類名	出願人名義変更届（一般承継）
担当官	土井 恵子 4264
作成日	平成16年 3月15日

<認定情報・付加情報>

【提出された物件の記事】

【提出物件名】	委任状（代理権を証明する書面）	1
---------	-----------------	---

特願2002-379214

出願人履歴情報

識別番号 [000006792]

1. 変更年月日 1990年 8月28日

[変更理由] 新規登録

住所 埼玉県和光市広沢2番1号
氏名 理化学研究所

特願 2002-379214

出願人履歴情報

識別番号 [503359821]

1. 変更年月日 2003年10月 1日
[変更理由] 新規登録
住所 埼玉県和光市広沢2番1号
氏名 独立行政法人理化学研究所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.